

HITACHI



この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

資料1-1

Doc No. FRO-TA-0070/REV.4

第11回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係るヒアリング
(2021年3月10日)

発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請 (審査会合コメント回答、設置許可基準規則への適合性)

2021年3月10日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

内は商業機密のため非公開



目次

1. コメントリスト
 1. 1 コメント回答(コメントNo.10)
 1. 2 コメント回答(コメントNo.12、14)
 1. 3 コメント回答(コメントNo.13)
 1. 4 コメント回答(コメントNo.16)
 1. 5 コメント回答(コメントNo.17)
2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条)
3. 今後の説明の進め方

1. コメントリスト

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
1	2020/6/8 審査会合	申請対象に、三次蓋、貯蔵架台は含まれるか等、考え方を明確にすること。	第四条	<p>本型式証明申請の対象には、輸送荷姿に圧力監視装置を取り付けるために輸送用緩衝体、三次蓋等を一部改造した付属品、及びそれらと同等の機能を有する貯蔵用緩衝体を装着した状態を含めるものとする。</p> <p>一方、貯蔵架台は本申請の対象外として、設置(変更)許可申請にて確認いただく。ただし、トラニオンを固定する貯蔵方式では、トラニオンを貯蔵架台に固定するための構造物(以下「固定装置」という)及び貯蔵架台が健全であることを前提として、トラニオンの地震時の構造健全性の評価方法を申請対象とする。</p> <p>【詳細は、8/6審査会合 資料1の4～8ページに示す】</p>	8/6 審査会合 で説明
2	2020/6/8 審査会合	緩衝体付きの方式の申請の方法として、型式証明と設置(変更)許可の間では、代表的又は制限となる緩衝体の具体的設計の条件を取り合う等、申請対象の区分けの方法は複数考えられる。それを踏まえて、型式証明での緩衝体の申請方法を明確にすること。	全般	<p>緩衝体付きの方式では、輸送荷姿の性能を評価条件として、型式証明の範囲で兼用キャスクの許可範囲が完結するものとし、後段の設置(変更)許可で確認する範囲について明確にした。</p> <p>本型式証明での説明範囲と申請対象及び設置(変更)許可で確認いただく範囲等の詳細については、2020年6月8日の審査会合資料2-1を修正した資料を用いてご説明する。</p> <p>【詳細は、8/6審査会合 資料1の9～16ページに示す】</p>	
3	2020/6/8 審査会合	輸送荷姿を含め型式証明/設置(変更)許可で確認する範囲のすみ分けについて明確にすること。	全般	<p>【詳細は、8/6審査会合 資料1の9～16ページに示す】</p>	

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
4	2020/6/8 審査会合	安全評価について説明する際は、核燃料輸送物設計承認を受けた類似キャスクと同様である旨の説明のみではなく、設置許可基準規則への適合性の観点で明確に説明をすること。	第五、六条	(今後詳細をご説明する)	次回以降の審査会合で回答予定
5	2020/6/8 審査会合	配置(i)~(ii)の燃料収納条件は、中央部、外周部それぞれに複数タイプの燃料が記載されているが、どちらかの燃料のみ収納できるのか、混載可能なのか。また、配置(iii)は1種類のタイプのみ収納するのか。安全評価の代表性を含めて説明すること。 また、初期濃縮度の記載の考え方について説明すること。	第十六条	<p>新型8×8ジルコニウムライナ燃料と高燃焼度8×8燃料の構造健全性を維持できる温度(以下「被覆管制限温度」という)は同一であり、申請した配置(i)~(ii)の収納条件であれば、キャスクの4つの安全機能を維持でき、被覆管制限温度の範囲に収まるため、混載可能である。</p> <p>新型8×8燃料の被覆管制限温度は、他の燃料タイプに比べて低い。収納する位置を温度が低い外周部に限定して他の燃料タイプと混載する方法もあるが、本型式証明で申請する配置(iii)は新型8×8燃料を単独で多く収納するために設定した収納条件である。</p> <p>配置(i)、(ii)、(iii)の4つの安全機能の評価は、収納燃料の初期濃縮度、崩壊熱量、線源強度の入力条件の大小から代表評価を決定するか、又は配置ごとの評価結果からより厳しい方の結果で代表するかのいずれかとしている。</p> <p>なお、初期濃縮度は、燃料仕様の概要では、燃料タイプごとに値が異なることを示すために設置(変更)許可申請の記載を例に「約」とした。一方、今後提示する安全解析の入力条件となる初期濃縮度は、詳細値を記載する。</p> <p>【詳細は、8/6審査会合資料1の17~22ページに示す】</p>	8/6 審査会合 で説明

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
6	2020/8/6 審査会合	外運搬規則に定める車両運搬時の荷姿である輸送荷姿を構成する貯蔵用付属品(輸送用緩衝体、三次蓋及びモニタリングポートカバープレート)と今回申請されたものとは、一部がそれぞれ改造されていることから、外運搬規則の要求事項に対する適合性説明時に用いた評価結果の引用には考慮が必要と考えられる。このことを踏まえ、改造による特定兼用キャスクの安全機能への影響について説明すること	全般	貯蔵用として想定する付属品は、貯蔵用緩衝体、貯蔵用三次蓋、モニタリングポートカバープレート(貯蔵用)、圧力センサ及び監視装置である。このうち、貯蔵用緩衝体、貯蔵用三次蓋及びモニタリングポートカバープレート(貯蔵用)は、監視装置に信号線を通すために三次蓋及びモニタリングポートカバープレート(貯蔵用)を貫通させるが、貯蔵時の兼用キャスクの密封境界に影響を及ぼさず、改造による兼用キャスクの安全機能への影響はない。 兼用キャスクに装着する貯蔵用付属品は周辺施設に分類し、貯蔵用付属品の実設計を用いた詳細設計・詳細評価は設工認で確認いただく予定である。なお、設計例は型式指定の段階で提示する場合もある。 【詳細は、10/5審査会合 資料1 の6～16ページに示す】	10/5 審査会合 で説明
7	2020/8/6 審査会合	後段の型式指定の申請範囲を考慮した上で、上記の改造されている特定兼用キャスク貯蔵用付属品の申請範囲を明確にすること	全般	【詳細は、10/5審査会合 資料1 の6～16ページに示す】	10/5 審査会合 で説明
8	2020/8/6 審査会合	閉じ込め機能の評価について、貯蔵時と輸送時では健全性の判断に用いる指標が異なることから、今後は、貯蔵時と輸送時の評価手法の差異を含めて、閉じ込め機能の成立性を説明すること	第十六条	貯蔵時は一次蓋の金属ガスケット部、輸送時は三次蓋のゴムリング部がシール部となる。 貯蔵時の場合、設計貯蔵期間60年の間に密封境界の内部が負圧を維持できる基準漏えい率を定義し、金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率を満足することを確認する。 一方、輸送時の一般の試験条件では、密封境界の内部が大気圧となること、輸送時の特別の試験条件では、密封境界の内部が正圧となることを想定して、漏えい試験時のガス漏えい率に基づいて放射性物質の放出率を算出し、外運搬規則に定められる基準を満足することを確認する。 【詳細は、10/5審査会合 資料1 の17～19ページに示す】	10/5 審査会合 で説明
9	2020/8/6 審査会合	地震時の評価について、トラニオンの固定方法の適用範囲を示すこと	第四条	(今後詳細をご説明する)	次回以降の審査 会合で回答予定

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
10	2020/8/6 審査会合	特定兼用キャスクの評価で示されている使用済燃料体の燃焼度と電力事業者の管理値には、燃焼度計算に用いる計算機プログラムの違いによる差異が生じるため、特定兼用キャスクへの使用済燃料集合体の収納体数等の収納条件検討における、この相違への考慮の考え方を説明すること	第十六条 遮蔽、除熱	使用済燃料の軸方向燃焼度分布は、事業者が炉心解析コードで評価した値である。崩壊熱量、線源強度等を計算する燃焼解析コードでは、入力条件やオプション設定の初期濃縮度、ウラン重量、核データの断面積ライブラリ等において、保守的な崩壊熱量、線源強度になるように設定しているため、入力条件としての燃焼度については、炉心解析コードの計算誤差は入力条件に取り込んでいない。その保守性は確認している。 【詳細は、資料1-4に示す】	次回審査会合 で回答
11	2020/10/5 審査会合	貯蔵時の設置方法②(よこ置き)で使用する貯蔵用緩衝体の説明方針について、貯蔵用緩衝体の評価条件として、輸送用緩衝体の条件を用いる場合には、その適用性について、定量的に説明すること	第四、 十六条	(今後詳細をご説明する)	次回以降の審査 会合で回答予定
12	2020/10/5 審査会合	貯蔵時の設置方法②について、貯蔵用三次蓋及びモニタリングポートカバープレートを有する構造とする場合には、具体的な条件について説明すること	全般	貯蔵時の閉じ込め機能に必要な一次蓋及び二次蓋の取付け用ボルト、シール部に使用する金属ガスケット、輸送時の閉じ込め機能に必要な三次蓋及びモニタリングポートカバープレートの取付け用ボルト、シール部に使用するOリングについては、兼用キャスクの構成機器として分類して申請する。	次回審査会合 で回答
13	2020/10/5 審査会合	蓋部以外の兼用キャスクに使用する部品(金属ガスケット、ボルト等)についても説明すること	全般	一次蓋、二次蓋、三次蓋取付け用のボルト、一次蓋及び二次蓋のシール部に使用する金属ガスケット、三次蓋及びモニタリングポートカバープレートのシール部に使用するOリングについては、兼用キャスクとして分類して申請する。	次回審査会合 で回答

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
14	2020/10/5 審査会合	周辺施設として分類する設備について、貯蔵用三次蓋、輸送用三次蓋等の設備も分類の考え方を再検討し説明すること	全般	輸送用三次蓋は、容器本体と一体となって外運搬時の閉じ込め機能を有することから兼用キャスクとして分類する。一方、貯蔵用緩衝体及び貯蔵用三次蓋については、兼用キャスクに取り付けて耐震機能を達成することから支持構造物と同じ周辺施設として分類する。なお、貯蔵用三次蓋は、閉じ込め機能を有しないため、貯蔵用緩衝体取付用フランジに名称変更する。型式証明申請では、輸送用緩衝体と三次蓋(一部改造)を装着した状態での放熱量、設計加速度を、事業者がサイト条件を考慮した上で貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付用フランジを設計する際に満足すべき境界条件として申請する。なお、設置変更許可では設計方針に変更がないこと、設工認申請では、貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付用フランジの詳細設計を、事業者からの申請とする。	次回審査会合で回答
15	2020/10/5 審査会合	型式証明で申請する設置方法について、設置方法②及び設置方法⑤(よこ置き)における貯蔵架台の具体的な固定方法を説明すること	全般	(今後詳細をご説明する)	次回以降の審査会合で回答予定
16	2020/10/20 審査会合	臨界等の安全機能に係る評価について、前提としている評価条件の考え方について説明すること。また、過度に保守性を持たせている理由についても説明すること	第十六条	HDP-69BCH(B)型は、収納できる使用済燃料の条件として、燃焼度は上限のみ設定している。臨界防止の観点では、燃焼度の上限値より小さい燃焼度で反応度のピークが存在する。したがって、対象となる使用済燃料の反応度が最も高くなる条件を包絡できる燃料モデルで評価を実施する。また、IAEA輸送規則の要件も踏まえて、十分に保守性のあるモデルで臨界解析を実施する。 【詳細は、資料1-3に示す】	次回審査会合で回答

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
17	2020/10/20 審査会合	閉じ込め機能の設計方針について、60年間の設計貯蔵期間経過時の一次蓋と二次蓋間の圧力が大気圧まで低下すると設定している理由を説明すること。また、閉じ込め監視機能の成立性について説明すること	第十六条	一次蓋と二次蓋の蓋間の圧力を測定する圧力センサを設置できる設計とすることにより閉じ込め機能を監視する。蓋間の容積は、兼用キャスク内部の容積より十分に小さく、一次蓋から漏えいが生じ、蓋間圧力が大気圧まで低下しても、兼用キャスク内部の圧力は大気圧を超えることはない。仮に蓋間の圧力が低下した場合には、再充填することで、蓋間圧力は大気圧以上に回復できる設計としている。兼用キャスク内部が負圧を維持できるように、使用する金属ガスケットが確保可能な密封性能(金属ガスケットの設計漏えい率)は、設計貯蔵期間経過後も大気圧以下であるものとする。 【詳細は、資料1-6に示す】	次回審査会合で 回答予定
18	2020/10/20 審査会合	緩衝体の経年変化の影響を考慮しても特定兼用キャスクの基準適合性を確保できるとする設計方針について、申請範囲の再整理結果を踏まえて、考え方を説明すること	第十六条	(今後詳細をご説明する)	次回以降の審査 会合で回答予定

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
19	2020/10/20 審査会合	今回の審査会合で提示した補足説明資料の記載を拡充すること	第十六条	<p>審査会合の指摘を踏まえて、以下の内容を補足説明資料に追加・修正し、記載を拡充している。</p> <p>【経年変化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中性子照射量の算出に用いた中性子束が全中性子束であること <p>【遮蔽】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・寸法、密度の製造公差の考慮の考え方 ・国内文献における燃焼度の誤差の値とその影響 ・JENDLライブラリによる評価 <p>【除熱】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・除熱機能の設計方針 ・最大崩壊熱量、設計基準値の考え方 ・伝熱フィン等の設計基準温度の追加 <p>【臨界防止機能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ベンチマーク解析の詳細 ・内部雰囲気の設定条件の詳細、水位を変化させた時の影響 <p>【閉じ込め機能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面温度監視の設計方針 ・蓋間圧力低下時の充填回数、貯蔵期間中の圧力の変化 <p>【その他】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・審査ガイドの適合性 ・設計思想と設計方針 ・計算コードの記載拡充 	次回審査会合で回答

1.1 コメント回答(コメントNo.10)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

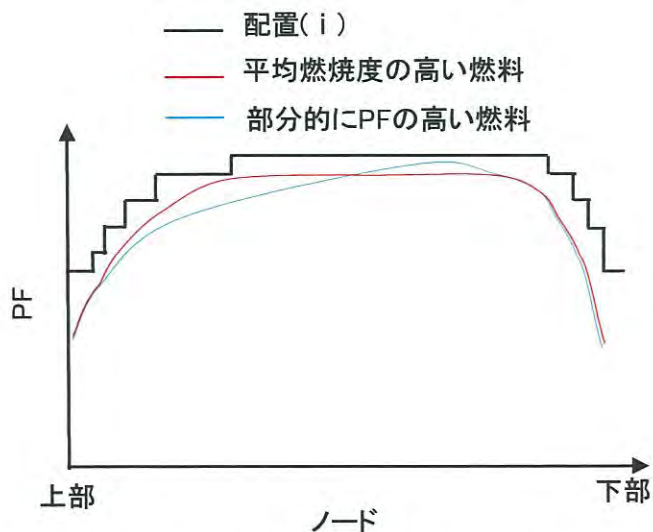


○燃焼度分布の設定について¹⁾

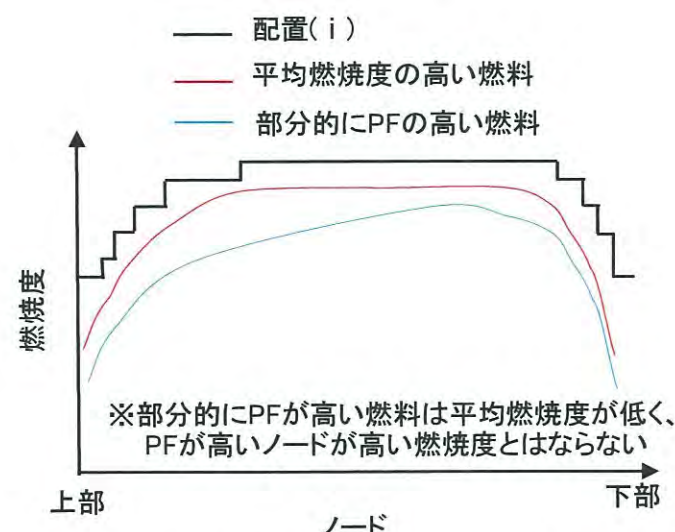
HDP-69BCH(B)型は3つの燃料収納条件を設定している。そのうち、配置(i)、(iii)は、保守的^{*1}に収納条件とする使用済燃料の軸方向燃焼度分布を設定しており、軸方向燃焼度分布の確認は不要である。

一方で、配置(ii)では、使用済燃料プールに保管されている使用済燃料 の軸方向燃焼度分布を調査し、その調査結果から、配置(i)、(iii)よりも合理的に収納できる使用済燃料の軸方向燃焼度分布を設定した。そのため、兼用キャスクへの収納時において、事業者によって軸方向燃焼度分布は確認されるものとした。なお、設定した軸方向燃焼度分布が包含されない使用済燃料については、HDP-69BCH(B)型の収納対象外とする。

注記1*: 各ノードの燃焼度と燃料の平均燃焼度の比(ピーキングファクタ:PF)を取り、その比が大きくなるものを取っている。そのため、燃焼度自体が低いがPFが大きいものは、最大燃焼度にPFを乗じて求めた燃焼度分布は過大に評価される。



配置(i)のPF分布のイメージ図



配置(i)の軸方向燃焼度分布のイメージ図

1) 資料1-4 参考1 1、2、8~10頁参照

内は商業機密のため非公開

1.1 コメント回答(コメントNo.10)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○燃焼度の計算について¹⁾

- (1) 燃焼度の設定に用いた使用済燃料プールに保管されている使用済燃料の軸方向燃焼度分布は、事業者が炉心解析コードで評価した値である。
- (2) 崩壊熱量、線源強度などを計算する燃焼解析コードでは、入力条件やオプション設定の初期濃縮度、ウラン重量、核データの断面積ライブラリ等において、以下のように、保守的な崩壊熱量、線源強度になるように設定しているため、入力条件としての燃焼度については、炉心解析コードの計算誤差は入力条件に取り込んでいない。

- ①設定した軸方向燃焼度分布は、複数の使用済燃料の軸方向燃焼度分布の包絡値であり、1体当たりの燃焼度は、炉心解析コードの計算誤差より大きい保守性を有している。
- ②遮蔽解析において、上記(1)の実燃料の軸方向燃焼度分布の最大値に計算誤差を加算した燃焼度分布を別途作成し、線量当量率の評価を行ったところ、現状の評価を超えないことを確認している。また、第三者が事業者と独立して実施した炉心解析コードによる解析値と実測値との比較において、計算誤差は①の誤差の約2倍とされているものがあり⁽¹⁾、①の誤差の約2倍の計算誤差を仮定した線源強度を計算しても、その線量当量率は、キャスク表面及びキャスク表面から1 mにおける設計基準値を超えないことを確認している。

出典(1): (独)原子力安全基盤機構、「CASMO-4/SIMULATE-3コードシステムによるBWR実機炉心解析に関する報告書」、(独)原子力安全基盤機構、(2005年12月)

配置(ii)の燃料ごとのPF

燃料種類	新型8×8 ジルコニウムライナ燃料		高燃焼度8×8燃料		備考
	40,000	40,000	48,000	—	
燃焼度(MWd/t)					
最大のPF					
平均のPF					

1) 資料1-4 参考1 3、4、13~15頁参照

内は商業機密のため非公開

1.2 コメント回答(コメントNo.12、14)

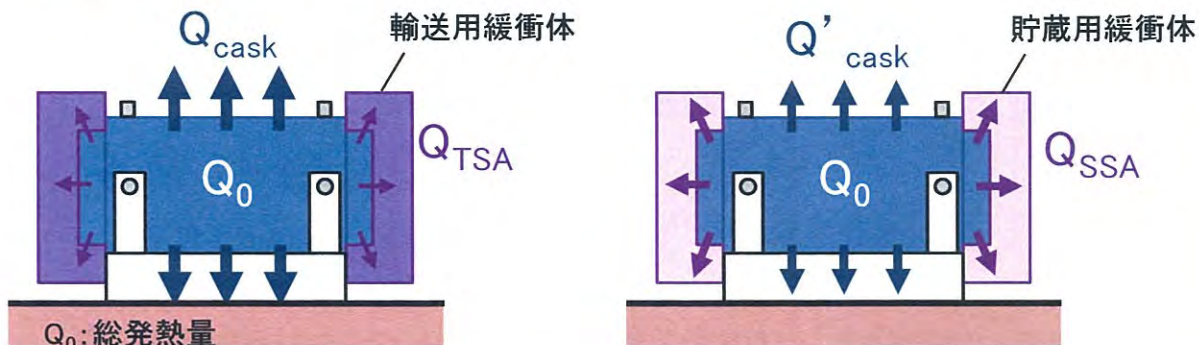
この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法②で使用する貯蔵用緩衝体の設計成立性の説明方法(1)

(第2回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合(8月6日)資料 P.10より)

✓ 緩衝体の放熱量



Q_0 : 総発熱量

Q_{cask} : 兼用キャスクからの直接の放熱量(輸送用緩衝体装着状態)

Q'_{cask} : 兼用キャスクからの直接の放熱量(貯蔵用緩衝体装着状態)

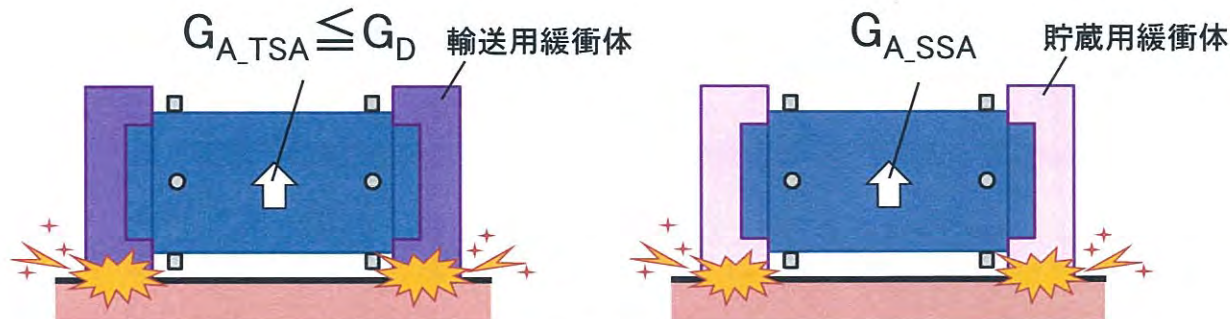
Q_{TSA} : 輸送用緩衝体を通しての放熱量 Q_{SSA} : 貯蔵用緩衝体を通しての放熱量

$$Q_{TSA} \leq Q_{SSA}$$

型式証明では、最も厳しい輸送荷姿の放熱量を貯蔵用緩衝体の条件とする。

設置(変更)許可申請では、緩衝体装着時の放熱量が輸送荷姿以上となる設計とすることを確認いただく。

✓ 転倒時の衝撃加速度



G_{A_TSA} : 転倒時衝撃加速度(輸送用緩衝体装着状態)

G_{A_SSA} : 転倒時衝撃加速度(貯蔵用緩衝体装着状態)

G_D : 輸送荷姿での設計加速度*1

$$G_{A_SSA} \leq G_D$$

型式証明では、転倒時の衝撃加速度が輸送荷姿での設計加速度*1以下となる設計とする。

詳細な荷重条件に基づいた具体的な評価については、型式指定又は工認で確認いただく。

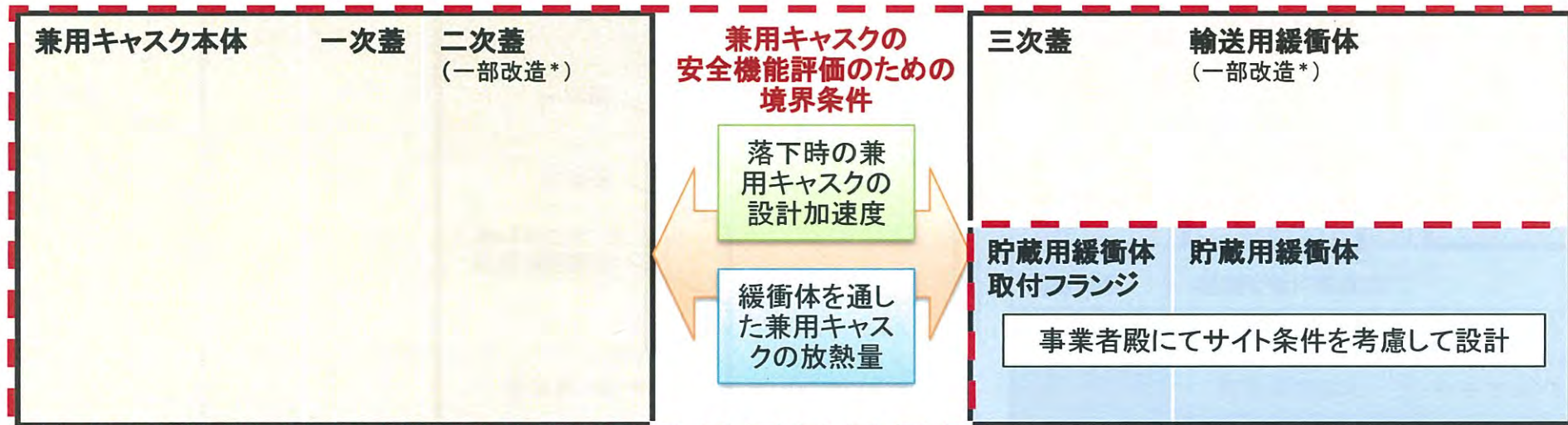
注記*1 構造評価で用いた加速度

1.2 コメント回答(コメントNo.12、14)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法②で使用する貯蔵用緩衝体の設計成立性の説明方法(2)



兼用キャスク 周辺施設 外運搬に必要な機器 型式証明申請にて審査いただきたい範囲

*: 蓋間圧力センサを取り付けるため、以下の例に示すような一部改造を実施する。

二次蓋:
 輸送用緩衝体:

- 設置方法②の一例として、輸送用緩衝体と三次蓋を装着した状態での、緩衝体を通した兼用キャスクの放熱量、落下時の設計加速度の条件で、設計成立性を説明する。
 - ・ 安全機能評価の詳細は、型式指定にて外運搬規則への適合性説明を引用して説明
- 貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付フランジは、事業者殿にてサイト条件を考慮して設計いただけるよう、上記の放熱量、設計加速度の条件を満足することを型式証明の条件として、設置変更許可申請での確認事項とする。安全機能評価の詳細は設工認申請にて説明する。
 - ・ 型式証明申請では、輸送用緩衝体と三次蓋を装着した状態での放熱量、設計加速度を条件とする。貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付フランジを新たに設計する場合は、当該の放熱量及び設計加速度の条件に包絡されることとする

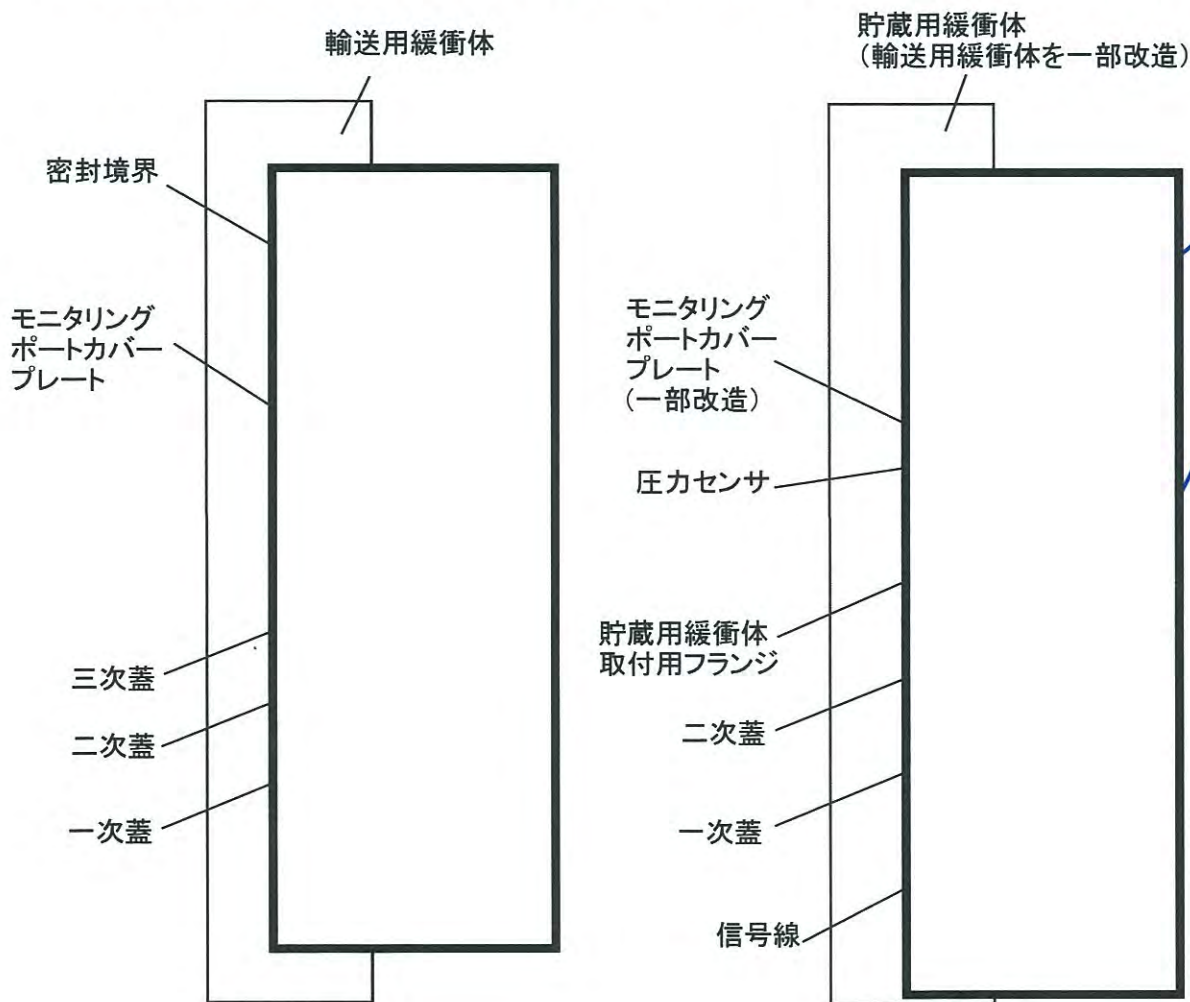
内は商業機密のため非公開

1.2 コメント回答(コメント No.12、14)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法②で使用する貯蔵用緩衝体として、輸送用付属品を改造した場合



輸送荷姿

設置方法②の例
(輸送用緩衝体を一部改造した場合)

一部改造の概要(例)	
モニタリングポートカバープレート	
輸送用緩衝体	

安全機能	一部改造の条件(例)	
	輸送用緩衝体	モニタリングポートカバープレート
臨界防止	(評価条件に影響なし)	
遮蔽	スリーミングが軽微であること	スリーミングが軽微であること
除熱	熱伝導の影響が軽微であること	熱伝導の影響が軽微であること
閉じ込め	(評価条件に影響なし)	

内は商業機密のため非公開

1.3 コメント回答(コメントNo. 13)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○兼用キャスクと周辺施設の種類

分類	名称	担保すべき安全機能		兼用キャスクによる乾式貯蔵の構成機器(型式申請書に記載)	審査で確認いただく安全機能						
		貯蔵時 ^{*1}	輸送時		型式証明	設置(変更)許可	型式指定		設計承認	設工認	
							貯蔵	輸送			
兼用キャスク	兼用キャスク本体(バスケットを含)	4つの安全機能	4つの安全機能	◎	◎	—(同左)	◎	◎	—(同左)	—(同左)	
	一次蓋(ボルト ^{*2} 含)	遮蔽 閉じ込め	遮蔽	◎	—	—	—	◎	—(同左)	—	
	二次蓋(ボルト ^{*2} 含)										
	三次蓋(ボルト ^{*2} 含)	—	閉じ込め	◎	—	—	—	◎	—(同左)	—	
	金属ガasket ^{*2} (一次蓋、三次蓋)	閉じ込め	閉じ込め	◎	◎	—(同左)	—	◎	◎	—(同左)	—(同左)
	モニタリングポートカバープレート ^{*2} (輸送用)	—	閉じ込め	◎	—	—	—	◎	◎	—(同左)	—
	Oリング ^{*2} (三次蓋、モニタリングポートカバープレート)	—	閉じ込め	◎	—	—	—	◎	◎	—(同左)	—
周辺施設	貯蔵用緩衝体	②: 地震防護 ⑤: —	—	②: ◎ ⑤: —	②: ◎ ⑤: —	—(同左)	②: ◎ ⑤: —	—	—	②: ◎ ⑤: —	
	貯蔵用緩衝体取付用フランジ(モニタリングポートカバープレート含)	②: 地震防護 ⑤: —	—	②: ○ ⑤: —	②: ○ ⑤: —	—(同左)	②: ○ ⑤: —	—	—	②: ○ ⑤: —	
	貯蔵架台(固定装置を含)	②: — ⑤: 地震防護	—	②: △ ⑤: ◎	—	②: △ ⑤: ◎	—	—	—	②: △ ⑤: ◎	
	監視装置、圧力センサ	監視機能	—	◎	—	—	—	—	—	◎	
外運搬するために必要な機器	輸送用緩衝体	—	落下時の外力防護	◎	—	—	—	◎	—(同左)	—	

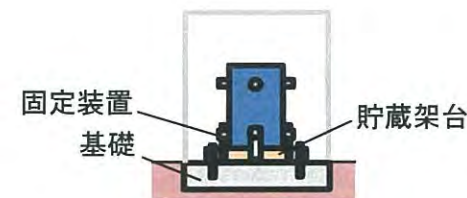
◎: 機能要求があり、型式制度で審査いただくもの ○: 他の部品と機能を一体化して無くす場合がある △: 重要な機能要求がないが運用上必要なもの

*1: ②、⑤は、下図に示す通り、設置方法②(緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しない方法)、設置方法⑤(トランオンによって兼用キャスクを基礎等に固定する方法)をそれぞれ示す。

*2: 蓋部以外の兼用キャスクに使用する部品



設置方法②



設置方法⑤

1.4 コメント回答(コメントNo.16)

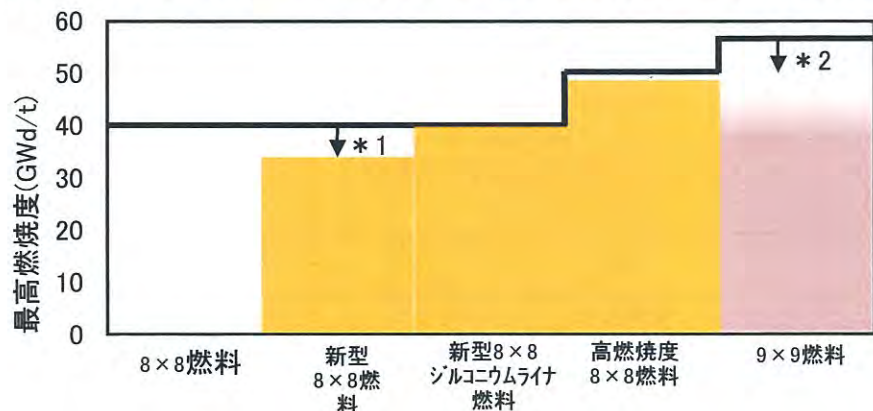
この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○臨界解析の燃料条件と保守性の考え方¹⁾

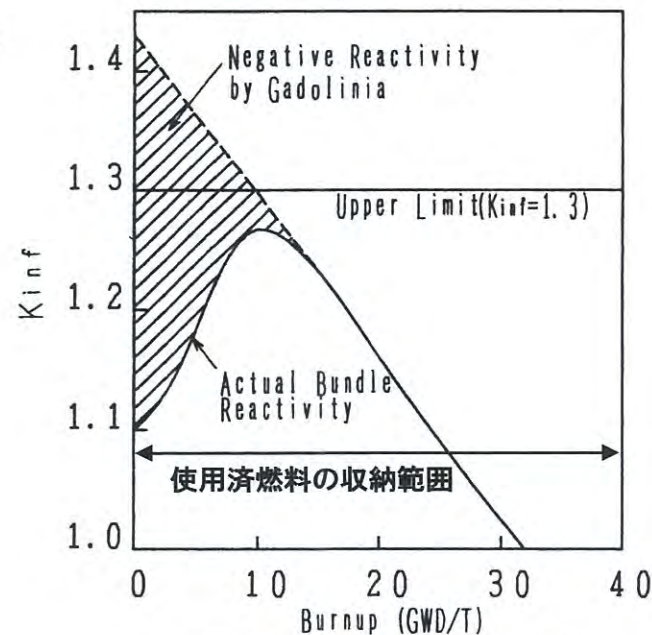
- ・HDP-69BCH(B)型への使用済燃料の収納条件は、燃焼度の上限値以下であることとしているため、上限値以下の燃焼度であれば、低燃焼度の燃料も収納できる仕様としている。
- ・除熱機能及び遮蔽機能の観点では燃焼度が最も高い条件が厳しいが、臨界防止の観点では、燃焼度の上限値より小さい燃焼度で反応度のピークが存在する。したがって、対象となる使用済燃料の反応度が最も高くなる条件を包絡できる燃焼を考慮しない燃料モデルで評価を実施する。
 乾燥時: 水のない状態ではガドリニアの中性子吸収効果を期待できないことから、燃焼度0 GWd/t(燃焼を考慮しない) の燃料モデルで評価
 冠水時: ガドリニアの中性子吸収効果を考慮し、反応度のピークを包絡できる燃料モデル(ガドリニアクレジットモデルバンドル)で評価
- ・なお、放射性物質安全輸送規則(IAEA輸送規則)より、燃焼度を考慮した場合、収納の前に未臨界度の測定が必要とされており、臨界防止機能は、他の安全機能よりも厳密な安全管理を要求されている。以上より、兼用キャスクの臨界解析は、十分に保守性を持たせた燃料モデルで解析を行う。

— 設計上の最高燃焼度 ■ 収納する使用済燃料の範囲 ▨ 将来収納可能な燃料の範囲



注記*1 燃料被覆管の基準温度が低いため
 注記*2 将来は9×9燃料(A型、B型)も燃焼度と冷却期間の選択で収納可能

収納する使用済燃料の範囲(燃焼度)²⁾



BWR燃料の反応度特性の例³⁾

1) 資料1-3 8、9頁参照 2) 資料1-2 表2.2-1参照 3) 資料1-3 図2.4.1-5参照

1.5 コメント回答(コメントNo.17)

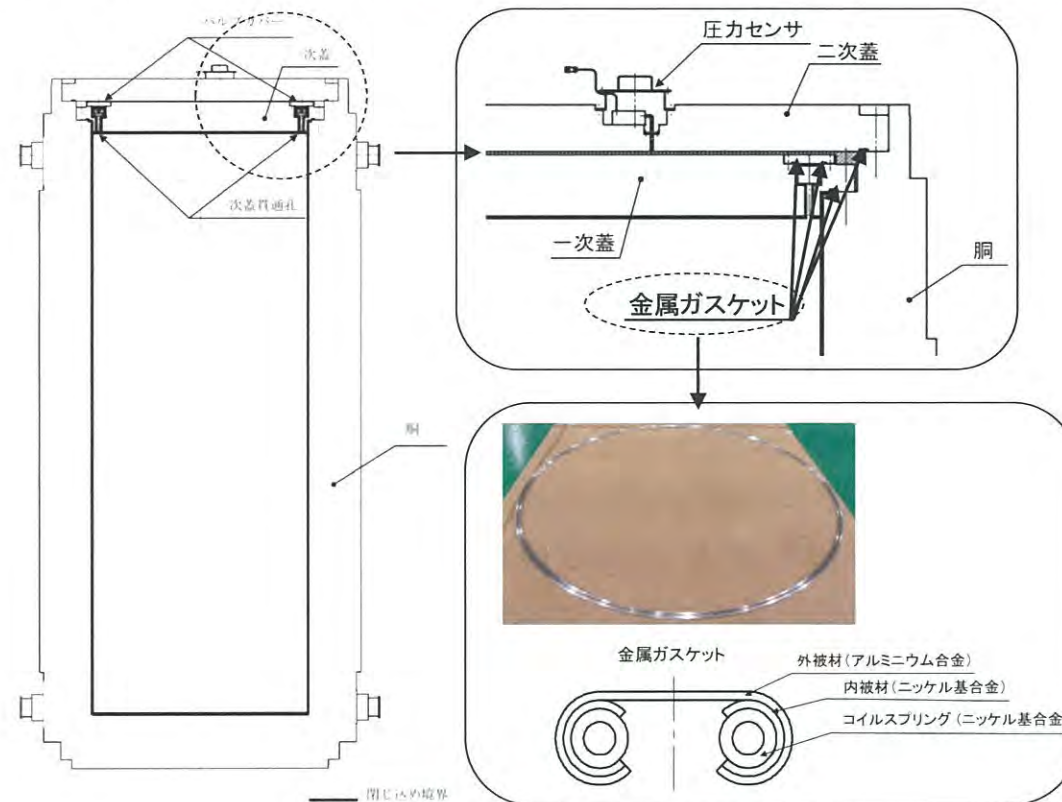
この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

HITACHI



○閉じ込め監視機能について¹⁾

- 二次蓋に一次蓋と二次蓋の蓋間圧力を測定する圧力センサを設置できる構造とすることにより、閉じ込め機能を監視する設計としている。蓋間の容積は、兼用キャスク内部の容積より十分に小さく、仮に一次蓋から漏えいが生じ、蓋間圧力が大気圧まで低下しても、兼用キャスク内部の圧力は大気圧を超えることはない。また、蓋間圧力が低下した場合には、ヘリウムガスを再充填することで、蓋間圧力は大気圧以上に回復できる設計としている。



- 1) 資料1-6 4頁参照
- 2) 資料1-6 図2.4.4-1～3参照

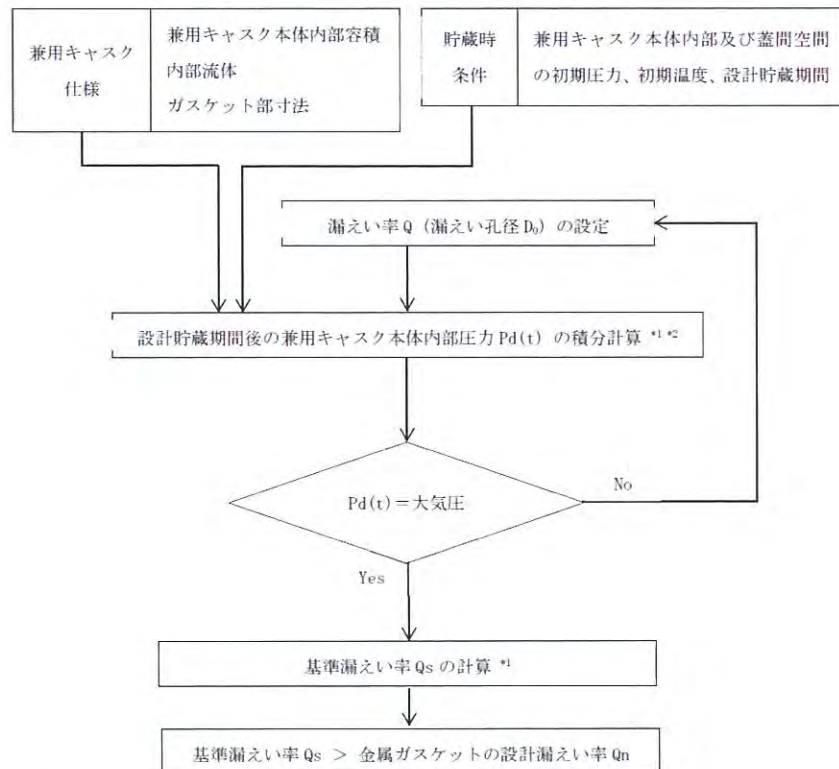
HDP-69BCH(B)型の型じ込め構造²⁾

1.5 コメント回答(コメントNo.17)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○基準漏えい率、金属ガスケットの設計漏えい率の関係¹⁾



- ・兼用キャスクが負圧を維持できるように、使用する金属ガスケットが確保可能な密封性能(金属ガスケットの設計漏えい率)は、設計貯蔵期間経過後も大気圧以下であるものとする。
- ・金属ガスケットの設計漏えい率は、漏えい率の下限值(基準漏えい率^{*1})よりも小さい値となる。なお、金属ガスケットの単体の性能だけでなく、兼用キャスクの蓋部に金属ガスケットを組み込んだ状態の気密漏えい検査時の検査精度も考慮して、設定する。

金属ガスケットの設計漏えい率: 約 10^{-7} Pa・m³/s

注記*1: クヌッセンの式に基づく計算

*2: ボイル・シャルルの法則に基づく計算

注記*1: 乾式キャスク^{*2}、金属キャスク^{*3}の設計貯蔵期間経過後に大気圧となる漏えい率
キャスク内部圧力が大気圧となる漏えい率

*2: 「使用済燃料の乾式キャスク貯蔵に係る技術的検討」
(平成4年7月 資源エネルギー庁)

*3: 「使用済燃料貯蔵施設(中間貯蔵施設)に係る技術検討報告書」
(平成12年12月 資源エネルギー庁)

基準漏えい率の計算フロー図²⁾

- 1) 資料1-6 10頁参照
- 2) 資料1-6 図2.4.4-6参照

1.5 コメント回答(コメントNo.17)

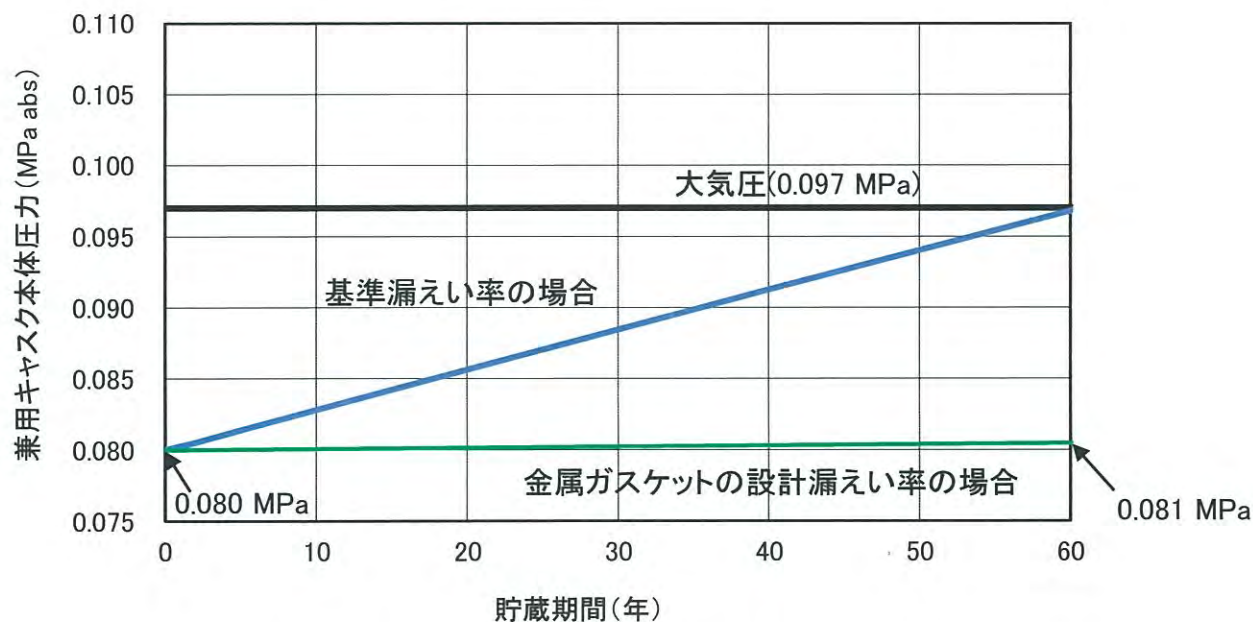
この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○漏えい率と内部圧力の関係¹⁾

・金属ガスケットの設計漏えい率が約 10^{-7} Pa・m³/sであれば、設計貯蔵期間60年後の兼用キャスク本体内部圧力は0.081 MPa程度となり、初期圧力0.080 MPaに対してほとんど変化せず、大気圧0.097 MPa以下であり、十分に負圧を維持することができることを確認した。

金属ガスケットの設計漏えい率 (Pa・m ³ /s)	基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)
1.0×10^{-7}	2.4×10^{-6}



貯蔵期間中の兼用キャスク本体内部圧力²⁾

1) 資料1-6 26頁参照

2) 資料1-6 図2.4.4-12参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) -4つの安全機能評価の設計思想-

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○4つの安全機能の設計思想¹⁾

安全機能	臨界防止機能	遮蔽機能	除熱機能	閉じ込め機能
安全機能を満足させるための兼用キャスク構造	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料を適切な間隔を持った幾何学配置に維持する。 中性子吸収材を適切に配置して、使用済燃料から放出される中性子を吸収することにより、反応度を下げる。 	<ul style="list-style-type: none"> ガンマ線を遮蔽するための部材を使用済燃料の周囲に適切に配置する。 中性子を遮蔽するための部材を使用済燃料の周囲に適切に配置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料の崩壊熱を適切に兼用キャスク本体に伝えるため、個別の使用済燃料周囲に伝熱部材を配置できるバスケット構造とし、バスケットには熱伝導率の高い材料を用いる。 兼用キャスク本体内側から外側へ適切に崩壊熱を伝えるため、兼用キャスク本体には適切な熱伝導と構造強度を両立できる材料を用いる。 兼用キャスク本体外側から、中性子吸収材を通して兼用キャスク外表面に適切に崩壊熱を伝えるため、中性子吸収材を配置する部分には、伝熱部材を配置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 兼用キャスクの密封部に、漏えい率が十分小さい部材を使用することにより、兼用キャスク内部を負圧に維持する。 多重の蓋を有し、蓋間空間を正圧とすることで兼用キャスク内部と兼用キャスク外部の間に圧力障壁を設け、使用済燃料を内封する区間を兼用キャスク外部から隔離する。 蓋間空間の圧力を監視できる。
設計思想 上記を満足させるために特に必要な兼用キャスクの部材	<ul style="list-style-type: none"> バスケットプレート 	<ul style="list-style-type: none"> 兼用キャスク本体(胴、底板、外筒)、一次蓋、二次蓋 中性子遮蔽材(本体、一次蓋) 	<ul style="list-style-type: none"> バスケットプレート 伝熱プレート 兼用キャスク本体(胴、底板、外筒) 伝熱フィン 	<ul style="list-style-type: none"> 兼用キャスク本体(胴) 金属ガスケット 一次蓋、二次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋ボルト
兼用キャスク設計の具体化	<ul style="list-style-type: none"> 設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定のバスケット格子内に維持できるバスケット構造とするため、材質は実績のあるステンレス鋼を用いる。 中性子吸収材を効果的に配置するため、ステンレス鋼にポロンを添加した材料を用いる。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計貯蔵期間を通じて使用済燃料からのガンマ線を遮蔽できるよう、使用済燃料の周囲を取り囲む兼用キャスク本体(胴、底板)及び一次蓋、二次蓋に、炭素鋼を使用する。 設計貯蔵期間を通じて使用済燃料からの中性子を遮蔽できるよう、使用済燃料の周囲を取り囲む兼用キャスク本体(胴、底板)及び一次蓋に、長期的に中性子遮蔽効果を維持できる樹脂をベースとした中性子吸収材を配置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計貯蔵期間を通じて使用済燃料の崩壊熱を兼用キャスク本体に伝えるため、バスケット格子には熱伝導率の高いアルミニウム合金を使用する。 設計貯蔵期間を通じて崩壊熱を兼用キャスク本体内側から外側へ伝えるため、兼用キャスク本体には、構造強度部材として実績を有し、適切な熱伝導率も有する炭素鋼を使用して設計する。 設計貯蔵期間を通じて、崩壊熱を、中性子吸収材を通して兼用キャスク外表面に伝えるため、伝熱フィン(炭素鋼(銅クラッド鋼))を使用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 一次蓋と二次蓋による二重の密封構造として、蓋間の圧力を正圧として圧力障壁を設ける。 設計貯蔵期間を通じて密封部の漏えい率を十分に小さく維持できるよう、乾式キャスクで使用実績を有する金属ガスケットを使用する。 蓋間空間の圧力を監視できるよう、圧力センサを設ける。

1) 資料1-2 表2.4-4参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) -適合性についてのまとめ-

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



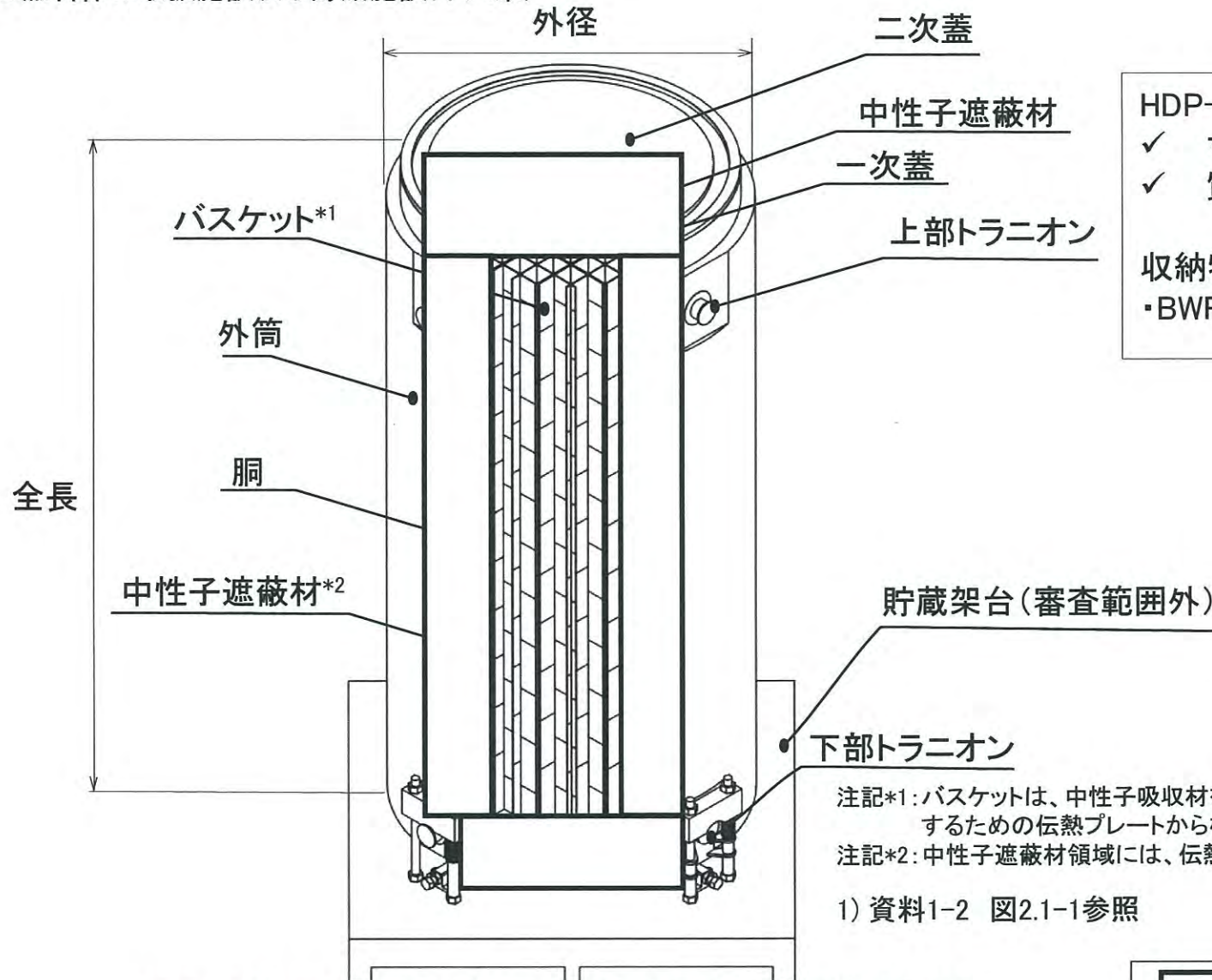
安全機能	要求事項		設計方針	設計方針のポイント	評価結果
臨界防止	第2項 第一号 ハ	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	使用済燃料を適切な間隔を持った幾何学的配置に維持し、中性子吸収材を適切に配置する兼用キャスクの構造とすることで、兼用キャスクの運用上想定されるすべての状態で中性子実効増倍率が0.95を上回らない設計とする。	使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明を受けた評価基準、評価方法、評価条件を適用しており、安全機能評価方法に新規性、新知見はない。	設計上想定される状態において、中性子実効増倍率が0.95以下となる。
遮蔽	第4項 一号	使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。	ガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材が適切に配置された兼用キャスクの構造とすることで、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽できる設計とする。	なお、今回申請した兼用キャスクは、核燃料輸送物設計承認を受けたもの同一の設計である。 (使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明を取得済み：原規規発第1903259号)	設計上想定される状態において、兼用キャスク表面の線量当量率が2mSv/h以下及び表面から1m離れた位置における線量当量率が100 μSv/h以下となる。
除熱	第4項 二号	使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。	使用済燃料の崩壊熱を兼用キャスク各部の部材を介して、兼用キャスク外部に放熱できるように、各部に伝熱部材を配置する兼用キャスクの構造とすることで、部材の熱伝導、対流、ふく射によって、使用済燃料から発生する崩壊熱を適切に外部に除熱できる設計とする。	(核燃料輸送物設計承認書を取得済み：原規規発第1903253号)	設計上想定される状態において、燃料被覆管のクリープ破断、機械的特性の低下を防止できる温度以下となり、かつ兼用キャスク構造部材の温度が、健全性及び性能を維持できる温度以下となる。
閉じ込め	第4項 三号	使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。	密封部に、漏えい率が十分小さい部材を使用し、さらに多重の蓋を有する兼用キャスクの構造とすることで、一次蓋と二次蓋の間を正圧とし、使用済燃料を内包する空間を兼用キャスク外部から隔離することができ、かつ、評価期間中に兼用キャスク内部を負圧に維持できる金属ガスケット及び密封境界部の設計とする。		想定される最も高い温度(兼用キャスク内温度、一次蓋シール部温度)においても、金属ガスケットを用いることで、設計貯蔵期間中に兼用キャスク内部を負圧に維持できる。
経年変化	解釈 別記4 第16条 第5項	兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で使用済燃料の健全性を確保すること。	経年変化に対して耐食性のある材料を使用し、かつ、腐食防止のため、兼用キャスク内部に不活性ガスを封入する兼用キャスクの構造とすることで、兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料に対して、熱的影響、放射線の照射による影響、化学的影響による経年変化を考慮する必要がない設計とする。		兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料に対して、設計貯蔵期間中の最高温度、照射量、環境が経年変化を考慮する必要がない条件である。

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 兼用キャスクの構造 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(十六条)¹⁾



HDP-69BCH(B)型の形状

- ✓ 寸法:(外径)2.5m (全長)5.4m
- ✓ 質量:約119t(使用済燃料を含む)

収納物

- ・BWR使用済燃料:69体/基

注記*1:バスケットは、中性子吸収材を含有するバスケットプレートと伝熱性能を確保するための伝熱プレートから構成される。

注記*2:中性子遮蔽材領域には、伝熱性能を確保するための伝熱フィンを設置する。

1) 資料1-2 図2.1-1参照

HDP-69BCH(B)型構造図 設置方法⑤(たて置き)の例



内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) ー使用済燃料収納条件ー

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(十六条)¹⁾

項目		キャスク収納制限、配置制限						
		配置(i)		配置(ii)		配置(iii)		
		中央部	外周部	中央部	外周部	中央部	外周部	
収納物仕様	使用済燃料1体の仕様	燃料タイプ		新型8×8ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度8×8燃料	高燃焼度8×8燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度8×8燃料	新型8×8燃料	
		初期濃縮度(wt%)		≤3.7		≤3.1		
		最高燃焼度(GWd/t)	≤40	≤34	≤48	≤40	≤34	≤29
		冷却期間(年)	18≥		20≥	22≥	28≥	
	兼用キャスク1基当たり	キャスク内平均燃焼度(GWd/t)	≤34		≤40		≤29	
		最大崩壊熱量(kW)	≤12.1		≤13.8		≤8.4	
配置								

1) 資料1-2 表2.4-1参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 臨界防止機能 —

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(十六条第2項一号ハ、解釈別記4 16条第1項)

○臨界防止機能の設計方針、構造、評価方法¹⁾

《要求事項》

燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

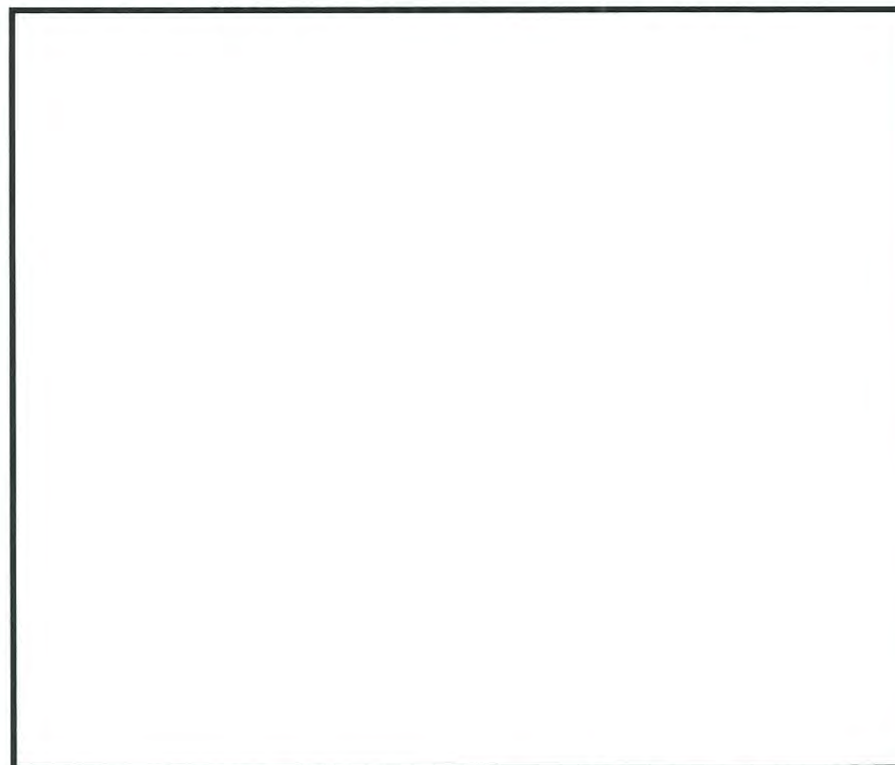
【設計方針】: 使用済燃料を適切な間隔を持った幾何学的配置に維持し、中性子吸収材を適切に配置する兼用キャスクの構造とすることで、兼用キャスクの運用上想定されるすべての状態で中性子実効増倍率が0.95を上回らない設計とする。

【臨界防止構造】:

- ・兼用キャスク内のバスケットは、格子構造とし、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の配置に維持できる構造とする。
- ・また、中性子吸収材であるほう素を含有するバスケットプレートを用いる。

【評価方法】:

- ・使用済燃料を兼用キャスクに収納する際の冠水状態を設計上考慮して、冠水状態を含めて臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を上回らないことを次ページ以降で説明する。



HDP-69BCH(B)型のバスケット構造図²⁾

- 1) 資料1-2 4、13頁参照
- 2) 資料1-3 図2.4.1-1参照



内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 臨界防止機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○審査ガイドの要求事項¹⁾

「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」(以下「審査ガイド」という。)の要求事項に対するHDP-69BCH(B)型の臨界防止設計への考慮を下表に示す。

項目	要求事項(確認内容)	臨界防止設計における考慮
配置・形状	兼用キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料の配置等における適切な安全裕度の考慮	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。 ・HDP-69BCH(B)型が無限に配列した体系(完全反射)*1 ・バスケットプレートの寸法公差 ・バスケット格子内の使用済燃料の配置
	兼用キャスクが滑動する場合の兼用キャスク配置の変化の適切な考慮	注記*1: 完全反射の考慮により兼用キャスクの滑動を考慮しても配置制限は必要ない
	設計貯蔵期間を通じてのバスケットの構造健全性維持	設計貯蔵期間を通じてバスケットが構造健全性を維持できる構造とする。
中性子吸収材の効果	以下についての適切な安全裕度の考慮 ・製造公差(濃度・不均質性・寸法等)	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。なお、ほう素の均質性は製造管理により担保。 ・中性子吸収材の濃度(ほう素添加量) ・中性子吸収材の寸法公差
	・中性子吸収に伴う原子個数密度の減少	設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は、 10^{-5} 程度であり無視できる。
減速材(水)の影響	使用済燃料を収納する際に冠水することの適切な考慮	冠水状態(1.0 g/cm ³)を考慮
解析コード及びデータライブラリ	検証され適用性が確認されていること	臨界解析で使用するSCALEコードシステムは、HDP-69BCH(B)型を構成する燃料体及び構造物を模擬した多数の臨界実験のベンチマーク解析により検証され適用性を確認している。
バスケットの状態	バスケットの塑性変形が想定される場合に未臨界性が維持されること	HDP-69BCH(B)型は、兼用キャスクを基礎等に固定する方法では通常貯蔵時において、バスケットの塑性変形が想定されない設計とする。一方、緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しない方法では、バスケットの塑性変形が生じても未臨界が維持される設計とする。

1) 資料1-3 4~11、28頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 臨界防止機能 —

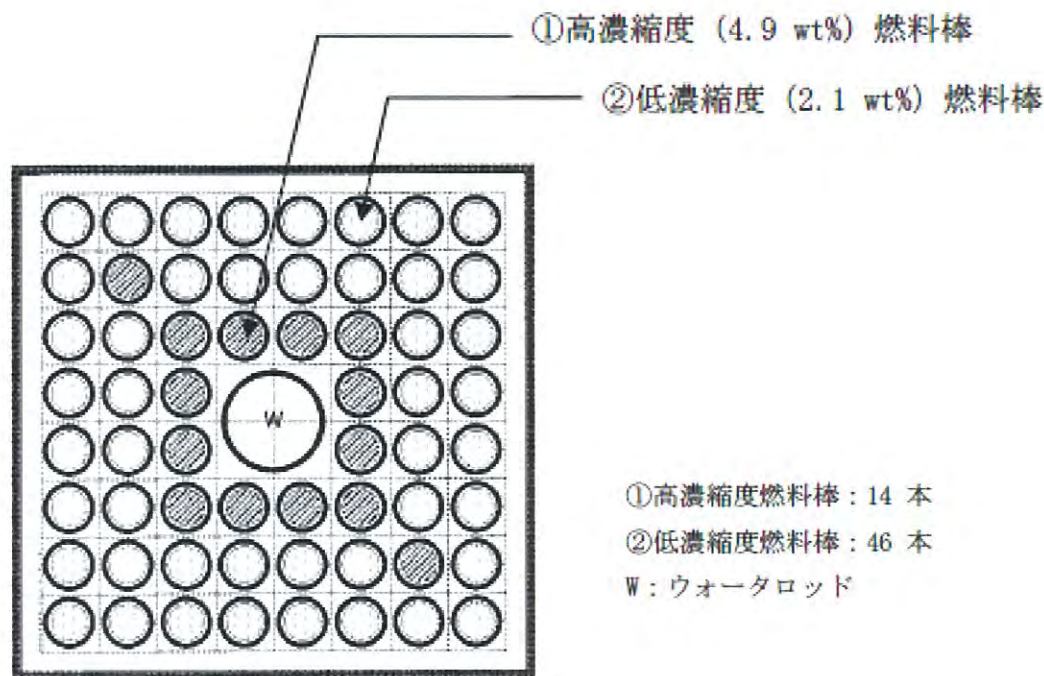
この資料及びこの資料に基づく計算並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



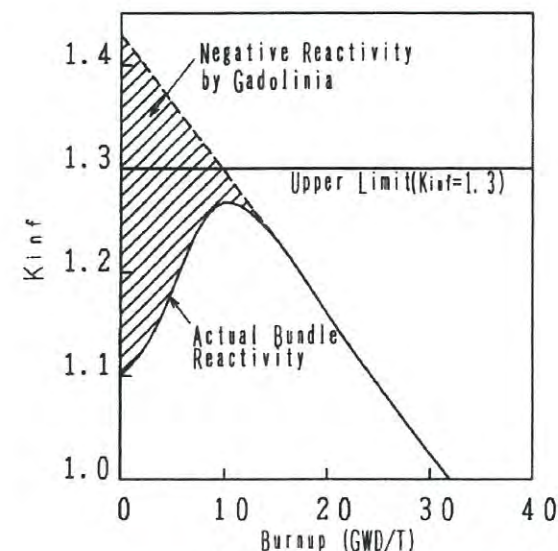
○臨界防止機能の安全評価について

臨界評価条件(収納物仕様)

- ✓ 保守的な評価となるように、最も反応度の高い(濃縮度の大きい)高燃焼度8×8燃料を69体収納する配置とする。
- ✓ 冠水時の臨界評価では、炉心冷温状態における無限増倍率が1.3となる仮想のモデルバンドルを用いる。
- ✓ 乾燥時にはガドリニアの存在を無視し、初期濃縮度の最大値、燃焼度は0GWd/tとする。



高燃焼度8×8燃料モデルバンドル²⁾



BWR燃料の反応度特性の例³⁾

上図⁽¹⁾に示すように、一般的なBWR燃料では、ガドリニアは、ほぼ1サイクル照射で燃え尽きるように設計され、燃料としての反応度のピークは10 GWd/t程度の燃焼度で現れる。炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3を超えることがない使用済燃料を収納する

1) 資料1-3 9頁参照 2) 資料1-3 図2.4.1-7参照 3) 資料1-3 図2.4.1-5参照

出典 (1): K. Kawakami, M. Matsumoto, H. Asano, T. Takakura, T. Matsumoto, T. Mochida, M. Yamaguchi, "The Use of Gadolinia Credit for Criticality Evaluation of a Spent-Fuel Cask," The 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM '95), December 3-8, 1995, Las Vegas, USA (1995).

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 臨界防止機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○ 臨界防止機能の安全評価について¹⁾

臨界評価条件(解析モデル)

- ✓ 解析モデルは、以下のとおり配置・形状等適切に考慮し、保守的な条件とする。
 - ・バスケット格子内での使用済燃料等の偏り等を考慮し、実効増倍率が最も大きくなる配置とする。
 - ・バスケットプレートの製造公差は実効増倍率が最も大きくなる寸法とする。
 - ・バスケットプレートのほう素添加量は、仕様上の下限値とする。
 - ・臨界防止の寄与を設計上考慮しない中性子遮蔽材は無視する。
 - ・兼用キャスクの配置の変化による影響を包含できるモデルとするために兼用キャスクが無限に配列した体系(完全反射境界)とする。

横断面図

縦断面図

臨界解析モデル 冠水時(乾燥時)²⁾

1) 資料1-3 14頁参照 2) 資料1-3 図2.4.1-4、8参照



内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 臨界防止機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○臨界防止機能の安全評価について

HDP-69BCH(B)型の各部のモデル上の考慮の考え方(臨界防止機能)¹⁾

名称	各部	モデル上の考慮	備考	
兼用キャスク 本体	胴、底板	[]		
	外筒			
	中性子遮蔽材			
	伝熱フィン(炭素鋼/銅)			
	バスケット			バスケットプレート
				伝熱プレート
	トラニオン			
一次蓋	一次蓋			
	中性子遮蔽材			
二次蓋	二次蓋			
BWR使用済 燃料集合体	燃料体			
	チャンネルボックス			

○:考慮している部材 —:考慮していない部材

1) 資料1-3 図2.4.1-4、8参照

内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 臨界防止機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○臨界防止機能の安全評価について¹⁾

臨界評価手法

- ✓ 前ページまでの収納物仕様及び解析モデルを用いて、SCALEコードシステムを用い、実効増倍率の計算には同じコードシステム内に含まれるKENO-V.aコードにより評価する。
- ✓ SCALEコードシステムは、米国NRCにより検証された標準解析コードであり、国内外の臨界解析の分野で幅広く使用されている。SCALEコードシステムに対しては、HDP-69BCH(B)型を構成する燃料体及び構造物を模擬した多数のベンチマーク解析を実施し、その妥当性を確認している。
- ✓ 上記解析コードを用いる評価手法には技術的な特殊性・新規性はない(いずれも許認可で使用実績のあるコード)

臨界評価結果

- ✓ 兼用キャスクに使用済燃料を収納する際の乾燥状態に加え、使用済燃料を収納する際の冠水状態を考慮し、冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を上回らないことを確認した。

中性子実効増倍率		基準値	
乾燥状態	0.41	≤0.95	技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計とするため、乾式キャスクの判定基準*1である中性子実効増倍率の計算結果に計算誤差を考慮しても0.95を上回らないことを基準とした
冠水状態	0.89		

注記*1: 原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について(平成4年8月27日原子力安全委員会了承)

《設計方針の妥当性》

以上より、設計上想定される状態において、兼用キャスクの中性子実効増倍率が0.95以下となる設計としていることから、兼用キャスクの臨界防止機能に係る設計方針は妥当である。

1) 資料1-3 27、29～39頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 遮蔽機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(十六条第4項一号、解釈別記4 16条第2項)

○遮蔽機能の設計方針、遮蔽構造、評価方法¹⁾

《要求事項》

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

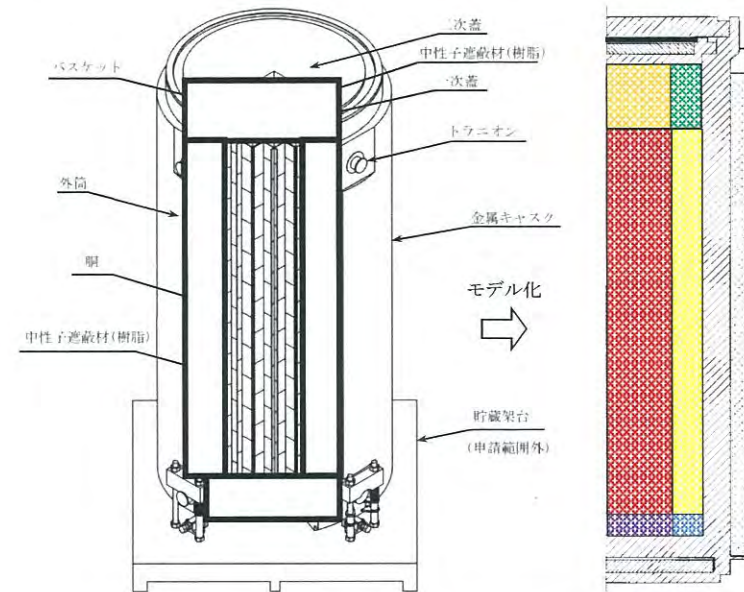
【設計方針】:ガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材が適切に配置された兼用キャスクの構造とすることで、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽することができる設計とする。

【遮蔽構造】:

・兼用キャスクは、使用済燃料からの放射線を兼用キャスク本体(胴、中性子遮蔽材、外筒)及び蓋部(一次蓋、二次蓋)により遮蔽する。

【評価方法】:

・使用済燃料を線源として遮蔽解析を実施し、兼用キャスク表面の線量当量率が2mSv/h以下及び表面から1m離れた位置における線量当量率が100 μ Sv/h以下となることを次ページ以降で説明する。



	中央部燃料上部構造材領域		外周部燃料上部構造材領域
	中央部燃料燃料有効領域		外周部燃料燃料有効領域
	中央部燃料下部構造材領域		外周部燃料下部構造材領域
	胴、底板、一次蓋、二次蓋、外筒(炭素鋼)		ボイド
	蓋部中性子遮蔽材カバー(ステンレス鋼)		
	中性子遮蔽材領域(レジン+炭素鋼+銅)		
	中性子遮蔽材領域(レジン+炭素鋼)		
	中性子遮蔽材領域(レジン)		

遮蔽材の配置²⁾

- 1) 資料1-2 4、14頁参照
- 2) 資料1-4 図2.4.2-3参照

内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 遮蔽機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○審査ガイドの要求事項¹⁾

審査ガイドの要求事項に対するHDP-69BCH(B)型の遮蔽設計への考慮を下表に示す。

項目	要求事項(確認内容)	遮蔽設計における考慮
使用済燃料の放射線源強度評価	放射線源強度は、燃料型式、燃料度、濃縮度、冷却年数等を条件とし、核種の生成及び崩壊を計算し求めること。	放射線源強度は、収納する燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件とし、核種の生成及び崩壊に基づきORIGEN2コードにより求める。
兼用キャスクの遮蔽機能評価	兼用キャスクからの線量当量率は、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化し、計算した放射線源強度に基づき求めること。その際、設計貯蔵期間中の兼用キャスクのガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材の熱劣化による遮蔽機能の低下を考慮すること。	兼用キャスクの線量当量率は、HDP-69BCH(B)型の実形状を二次元でモデル化し、使用済燃料等の放射線源強度等を条件として、DOT3.5コードにより求める。その際、設計貯蔵期間中の中性子遮蔽材(レジソ)の質量減損(2%)を考慮する。
	兼用キャスク表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率が100 μ Sv/h以下とすること。	兼用キャスク表面の線量当量率は2mSv/h以下、かつ、兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率は100 μ Sv/h以下である。
解析コード(放射線源強度/線量当量率)	検証され適用性が確認された燃焼計算コード/遮蔽解析コード及び断面積ライブラリを使用し求めること	ORIGEN2コードは、HDP-69BCH(B)型に収納する冷却条件のANS標準崩壊熱データ等により、また、DOT3.5コードは、使用済燃料輸送容器の測定値、三次元モンテカルロ計算コードであるMCNP5コードとの比較によって検証され適用性を確認している。

1) 資料1-4 4~6頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 遮蔽機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○遮蔽機能の安全評価について¹⁾

遮蔽評価条件(収納物仕様)

- ✓ 使用済燃料の燃焼度は、中央部に最高燃焼度の燃料、外周部に平均燃焼度の燃料を配置している。
- ✓ 使用済燃料の収納条件、配置(i)と配置(ii)を個別に評価し、厳しい値を確認する。
- ✓ チャンネルボックスは、放射化線源強度のみ考慮し、設計において遮蔽効果を期待しないため、下記のモデルからは無視している。
- ✓ 使用済燃料の線源強度を算出する際には、HDP-69BCH(B)型が収納対象とする使用済燃料の軸方向の燃焼度分布を包絡できるように設定した燃焼度分布を基に線源強度を保守的に算出する。

遮蔽評価条件(解析モデル)

- ✓ 解析モデルは、以下のとおり配置・形状等適切に考慮し、保守的な条件とする。
 - ・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが、マイナス側の寸法公差(最小厚さ)は原子個数密度で考慮する。
 - ・材料密度は、最小密度を使用する。
 - ・設計貯蔵期間中の熱影響による中性子遮蔽材の質量減損を考慮する。

遮蔽解析モデル図
(上部モデル)²⁾

遮蔽解析モデル図
(下部モデル)²⁾

遮蔽解析モデル図
(上部トランニオンモデル)²⁾

遮蔽解析モデル図
(下部トランニオンモデル)²⁾

1) 資料1-4 4、5、10頁参照 2) 資料1-4 図2.4.2-4~7参照

□ 内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 遮蔽機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○遮蔽機能の安全評価について¹⁾

HDP-69BCH(B)型の各部のモデル上の考慮の考え方(遮蔽機能)

名称	各部	モデル上の考慮	備考	
兼用キャスク 本体	胴、底板			
	外筒			
	中性子遮蔽材			
	伝熱フィン(炭素鋼/銅)			
	バスケット	バスケットプレート		
		伝熱プレート		
トラニオン				
一次蓋	一次蓋			
	中性子遮蔽材			
二次蓋	二次蓋			
BWR使用済 燃料集合体	燃料体			
	チャンネルボックス			

○:考慮している部材 - :考慮していない部材

1) 資料1-4 図2.4.2-4~7参照

内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 遮蔽機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○遮蔽機能の安全評価について¹⁾

遮蔽評価手法

- ✓ 線源強度評価には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開のORIGEN2コード、ライブラリはORIGEN2コードに内蔵されるBWR-Uを用いる。ORIGEN2コードについては、米国原子力学会(ANS)において、ANS標準崩壊熱等との比較により妥当性の確認を行っている。
- ✓ 線量当量率評価には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された二次元輸送コードであるDOT3.5コード、ライブラリはDOT3.5コードに内蔵されたDLC-23/CASKライブラリを用いる。
- ✓ DOT3.5コードは、使用済燃料輸送容器で豊富な解析事例があり、使用済燃料輸送容器との測定値と解析値の比較により妥当性を確認している。また、三次元モンテカルロ計算コードMCNPコードで兼用キャスクの同一部位の評価を行い、妥当な結果が得られることを確認している。
- ✓ 上記解析コードを用いる評価手法には技術的な特殊性・新規性はない(いずれも許認可で使用実績のあるコード)

遮蔽評価結果

評価位置	評価結果	基準値	
表面	1.1 mSv/h	≤ 2 mSv/h	適切な遮蔽能力を有する設計とするため、設置許可基準規則 解釈別記4 第16条2号を基準とした
表面から1m離れた位置	81 μ Sv/h	≤ 100 μ Sv/h	

《設計方針の妥当性》

以上より、設計上想定される状態において、兼用キャスク表面の線量当量率が2mSv/h以下及び表面から1m離れた位置における線量当量率が100 μ Sv/h以下となる設計としていることから、兼用キャスクの遮蔽機能に係る設計方針は妥当である。

1) 資料1-4 20、26～33頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 除熱機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(十六条第4項二号、解釈別記4 16条第3項)

○除熱機能の設計方針、構造、評価方法¹⁾

《要求事項》

使用済燃料からの崩壊熱を適切に除去することができるものとする。

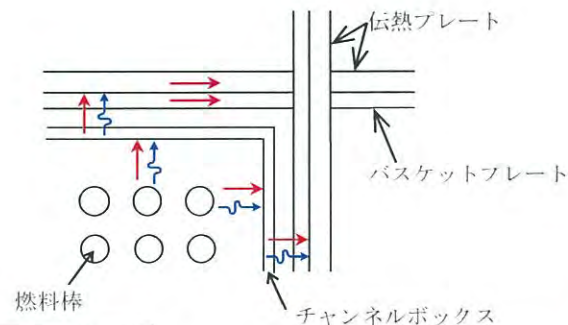
【設計方針】: 使用済燃料の崩壊熱を兼用キャスク各部の部材を介して、兼用キャスク外部に放熱できるように各部に伝熱部材を配置する兼用キャスクの構造とすることで、部材の熱伝導、対流、ふく射によって、使用済燃料から発生する崩壊熱を適切に外部に除熱できる設計とする。

【除熱構造、伝熱構造】:

・兼用キャスクは、使用済燃料から発生する崩壊熱を熱伝導及びふく射により兼用キャスク外表面に伝え、対流及びふく射により周囲の空気等に伝達する。バスケットには伝熱プレートを用いて必要な伝熱性能を確保する。また、兼用キャスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低いレジンをを用いるため、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保する。

【評価方法】:

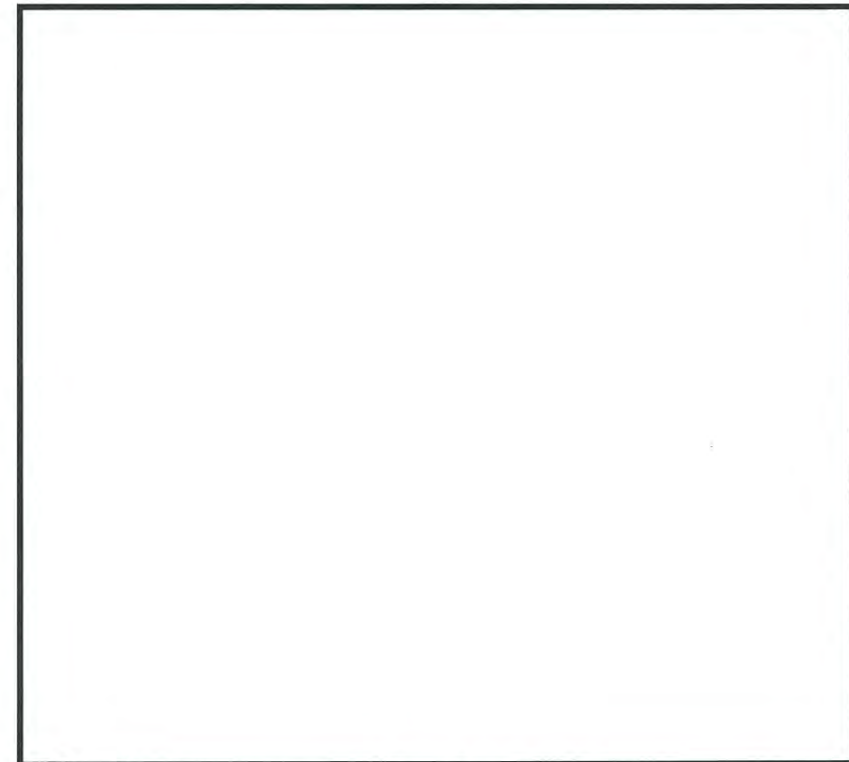
・燃料被覆管及び兼用キャスク構造部材の健全性が維持できる温度を超えないこと。



- 1) 資料1-2 5、15、16頁参照
- 2) 資料1-5 図2.4.3-1参照



内は商業機密のため非公開



燃料集合体 チャンネルボックス バスケットプレート
除熱解析モデル図²⁾

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 除熱機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○審査ガイドの要求事項¹⁾

審査ガイドの要求事項に対するHDP-69BCH(B)型の除熱設計への考慮を下表に示す。

項目	要求事項(確認内容)	除熱設計における考慮
使用済燃料の崩壊熱評価	崩壊熱は、燃料型式、燃料体の実形状、燃料度、濃縮度、冷却年数等を条件とし、核種の生成及び崩壊を計算し求めること。	崩壊熱量は、収納する燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件とし、核種の生成及び崩壊に基づきORIGEN2コードにより求める。
兼用キャスク各部の温度評価	使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び兼用キャスクの周囲の温度を条件とし、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化すること	兼用キャスク各部の温度は、HDP-69BCH(B)型の実形状を二次元でモデル化し、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び周囲温度等を条件として、ABAQUSコードにより求める。
	求めた温度は、兼用キャスクの構成部材が兼用キャスクの各部の安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度の範囲に収まること	兼用キャスク各部の温度は、安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度以下である。
	使用済燃料の崩壊熱と兼用キャスク各部の温度を条件とし、使用済燃料、バスケット等の実形状を適切にモデル化すること	燃料被覆管の温度は、使用済燃料の径方向断面の実形状を二次元でモデル化し、使用済燃料の崩壊熱を兼用キャスク各部の温度評価で求めたバスケットの温度を境界条件として、ABAQUSコードで求める。
燃料被覆管の温度評価	求めた温度は、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度の範囲に収まること	燃料被覆管の温度は、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度以下である。
解析コード(崩壊熱/温度評価)	検証され適用性が確認された燃焼計算コード/伝熱解析コードを使用し求めること	ORIGEN2コードは、HDP-69BCH(B)型に収納する冷却条件のANS標準崩壊熱データ等により、また、ABAQUSコードは、HDP-69BCH(B)型と同等の伝熱性能を有する兼用キャスクの伝熱試験により検証され適用性を確認している。

1) 資料1-5 4～9頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 除熱機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○除熱機能の安全評価について¹⁾

除熱評価条件(収納物仕様)

- ✓ 使用済燃料の収納条件、配置(i)と配置(ii)を個別に評価し、各部の温度を確認する。また、配置(iii)も一部評価し、燃料被覆管の温度を確認する。
- ✓ 燃料温度を高く評価できるよう、中央部に燃焼度の大きい燃料を配置する。
- ✓ 発熱量には、使用済燃料の発熱量(最大崩壊熱量)よりも大きな発熱量(設計崩壊熱量)を適用する。

除熱評価条件(解析モデル)

- ✓ 解析モデルは、以下のとおり配置・形状等適切に考慮し、保守的な条件とする。
 - ・解析モデルは、軸方向全体モデル、径方向輪切りモデル、燃焼集合体モデルを用いて、各部の温度を評価する。
 - ・兼用キャスク本体内のバスケット及びバスケット内の使用済燃料は、温度を高め評価するよう、空間の中央に配置する。
 - ・燃料集合体モデルは、軸方向への熱移動を考慮しない二次元モデルとする。



軸方向全体モデル

径方向輪切りモデル

燃料集合体モデル

除熱解析モデル要素分割図²⁾

1) 資料1-5 8、9頁 2) 資料1-5 図2.4.3-8、10、13参照

内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 除熱機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○除熱機能の安全評価について¹⁾

HDP-69BCH(B)型の各部のモデル上の考慮の考え方(除熱機能)

名称	各部	モデル上の考慮	備考	
兼用キャスク 本体	胴、底板			
	外筒			
	中性子遮蔽材			
	伝熱フィン(炭素鋼/銅)			
	バスケット	バスケットプレート		
		伝熱プレート		
	トラニオン			
一次蓋	一次蓋			
	中性子遮蔽材			
二次蓋	二次蓋			
BWR使用済 燃料集合体	燃料体			
	チャンネルボックス			

○:考慮している部材 - :考慮していない部材

1) 資料1-5 図2.4.3-8、10、13参照

内は商業機密のため非公開

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 除熱機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○除熱機能の安全評価について¹⁾

除熱評価手法

- ✓ 使用済燃料の崩壊熱計算はORIGEN2コード、兼用キャスク及び燃料被覆管の温度解析にはABAQUSコードを使用して評価する。
- ✓ 使用済燃料崩壊熱計算には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開のORIGEN2コード、ライブラリはORIGEN2コードに内蔵されるBWRUを用いる。ORIGEN2コードについては、米国原子力学会(ANS)において、ANS標準崩壊熱等との比較により妥当性の確認を行っている。
- ✓ HDP-69BCH(B)型の構成部材及び使用済燃料被覆管の温度解析にはABAQUSコードを用いる。HDP-69BCH(B)型と同等の伝熱形態を有する兼用キャスクの伝熱試験により検証され適用性を確認している。
- ✓ 上記解析コードを用いる評価手法には技術的な特殊性・新規性はない(いずれも許認可で使用実績のあるコード)

除熱評価結果

項目		評価結果(°C)	基準値(°C)	
燃料被覆管 最高温度	新型8×8燃料	196	200	使用済燃料の温度を、燃料被覆管のクリープ破損及び被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から制限される温度以下に維持できる設計とするため、燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度、照射硬回復現象により被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下となる温度を文献に基づき設定した
	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 高燃焼度8×8燃料	262	300	
兼用キャスク 構成部材 最高温度	胴、外筒、蓋部	142	350	兼用キャスクの温度を、安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持できる設計とするため、安全機能及び構造用強度の維持が必要な構成部材は、健全性及び性能が維持できる温度以下となる温度を文献、規格等に基づき設定した ^{*2}
	バスケットプレート	251	300	
	中性子遮蔽材	128	150	
	金属ガスケット	90	130	
	伝熱フィン	135 ^{*1}	300	

注記*1: 胴の最高温度で代表 注記*2: 貯蔵期間中に兼用キャスク外面に人が接触する作業は、防具による保護することで安全性を確保する。

≪設計方針の妥当性≫

以上より、設計上想定される状態において、燃料被覆管のクリープ破断、機械的特定の低下を防止する温度以下、かつ、兼用キャスク構成部材の温度が、健全性及び性能を維持できる温度以下となる設計としていることから、兼用キャスクの除熱機能に係る設計方針は妥当である。

1) 資料1-5 15、16、37～40頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 閉じ込め機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(十六条第4項三号、解釈別記4 16条第4項)

○閉じ込め機能の設計方針、構造、評価方法¹⁾

《要求事項》

使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

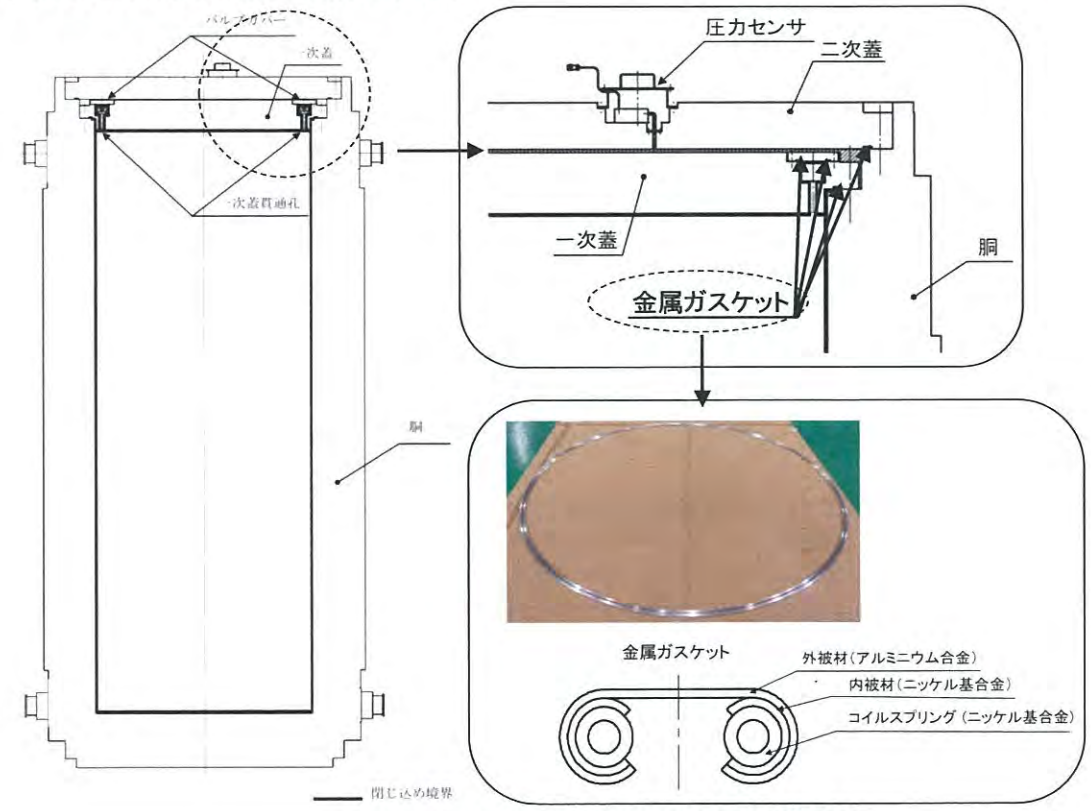
【設計方針】: 密封部に、漏えい率が十分小さい部材を使用し、さらに多重の蓋を有する兼用キャスクの構造とすることで、一次蓋と二次蓋の間を正圧とし、使用済燃料を内包する空間を兼用キャスク外部から隔離することができ、かつ、評価期間中に兼用キャスク内部を負圧に維持できる金属ガスケット及び密封境界部の設計とする。

【閉じ込め構造】:

- 兼用キャスク内部を設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。一次蓋と二次蓋の蓋間を正圧とし圧力障壁を形成することにより、放射性物質を兼用キャスク内部に閉じ込める。蓋及び蓋貫通孔のシール部は、金属ガスケットを使用し、設計貯蔵期間中に兼用キャスク内部を負圧に維持できる漏えい率(以下「基準漏えい率」という。)を満足するものを使用する。
- 蓋間の空間圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視する。

【評価方法】:

- 蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが兼用キャスク内部に漏えいするとともに、燃料棒からの核分裂生成ガス放出を仮定しても、兼用キャスク内部を負圧に維持可能な基準漏えい率を求める。



HDP-69BCH(B)型の型じ込め構造²⁾

1) 資料1-2 4、5、14、15頁参照
2) 資料1-6 図2.4.4-1、3参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 閉じ込め機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○審査ガイドの要求事項¹⁾

審査ガイドの要求事項に対するHDP-69BCH(B)型の閉じ込め設計への考慮を下表に示す。

項目	要求事項(確認内容)	閉じ込め設計における考慮
閉じ込め構造及び監視	金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、蓋間圧力を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること	一次蓋と二次蓋の二重構造とし、蓋及び蓋貫通孔のシール部には金属ガスケットを使用する。また、蓋間空間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できる構造とする。
負圧維持	設計貯蔵期間中、兼用キャスク内部の負圧を維持できること	使用済燃料を収納する空間を設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。
密封境界部の漏えい率維持	密封境界部の漏えい率は、兼用キャスク内部の負圧を維持できること。また、使用する金属ガスケット等のシール部は当該漏えい率以下であること	密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間中に兼用キャスク内部の負圧を維持できる漏えい率とし、金属ガスケットは、その漏えい率を満足するものを使用する。
閉じ込め機能評価	密封境界部の漏えい率が、設計貯蔵期間、内部初期圧力、自由空間容積、初期の蓋間圧力、蓋間の容積、温度等を条件として、適切な評価式を用いて求めること	密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間、内部初期圧力、自由空間容積、初期の蓋間圧力、蓋間の容積、温度等を条件として、漏えい孔中の流れの形態を考慮した適切な評価式を用いる。
兼用キャスクの衝突評価	転倒等による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。また、使用済燃料を取り出すために、一次蓋及び二次蓋が開放でき、使用済燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、かつ、使用済燃料集合体の過渡な変形が生じないこと	密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、おおむね弾性範囲内にとどまる設計とする。(今後、第四条で説明予定)

1) 資料1-6 4、10頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 閉じ込め機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○閉じ込め機能の安全評価について¹⁾

閉じ込め計算条件、計算式

- ✓ 除熱評価の結果から兼用キャスク各部の温度は最も高い温度を適用して評価する。
- ✓ ボイル・シャルルの式及びクヌッセンの式(工学式)を用い、設計貯蔵期間(60年)経過後の兼用キャスク本体内部圧力が大気圧となる漏えい率(基準漏えい率)を算出する。
- ✓ 基準漏えい率は、以下のとおり保守的な条件を設定し計算する。
 - ・設計貯蔵期間中に、蓋間の圧力に充填されているヘリウムガスは減少していくが、本評価では保守的に蓋間圧力を貯蔵開始時の圧力が一定とした条件下で、兼用キャスク内部に漏えいするものとする。
 - ・設計貯蔵期間中に、蓋間の空間の温度は低下していくが、本評価では保守的に蓋間温度を貯蔵開始時の温度で一定とした条件下で、兼用キャスク内部に漏えいするものとする。
 - ・燃料棒からの核分裂生成ガスの放出(0.1%破損)を仮定する。

ボイル・シャルルの式

$$\frac{dPd}{dt} = \frac{Q}{Vd} \cdot \frac{Td}{T}$$

クヌッセンの式

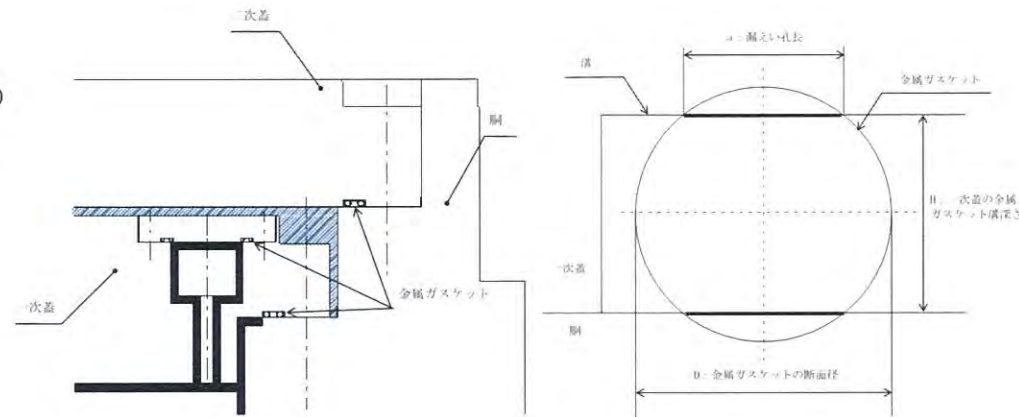
$$Q = L \cdot Pa$$

$$L = (Fe + Fm) \cdot (Pu - Pd)$$

$$Fe = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu}$$

$$Fm = \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3}{a \cdot Pa} \sqrt{\frac{T}{M}}$$

- Q : 漏えい率 (Pa・m³/s)
- L : 流れの平均圧力Paにおける体積漏えい率 (m³/s)
- Fe : 連続流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))
- Fm : 自由分子流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))
- Pu : 上流側の圧力 (Pa)
- Pd : 下流側の圧力 (Pa)
- D₀ : 漏えい孔径 (m)
- a : 漏えい孔長 (m)
- Pa : 流れの平均圧力 (Pa)、Pa=(Pu+Pd)/2
- μ : 漏えいガスの粘性係数 (Pa・s)
- T : シール部の代表温度 (=漏えいガスの温度) (K)
- M : 漏えいガスの分子量 (kg/mol)
- R₀ : 気体定数 (J/(mol・K))



- ・兼用キャスクの一次-二次蓋間圧力、ガス温度: 貯蔵開始時から一定
- ・兼用キャスク本体内部圧力: 貯蔵開始時に約0.08 MPa、60年後に大気圧 (燃料棒からの核分裂生成ガス放出(0.1%破損)考慮)

1) 資料1-6 11~15頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 閉じ込め機能 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



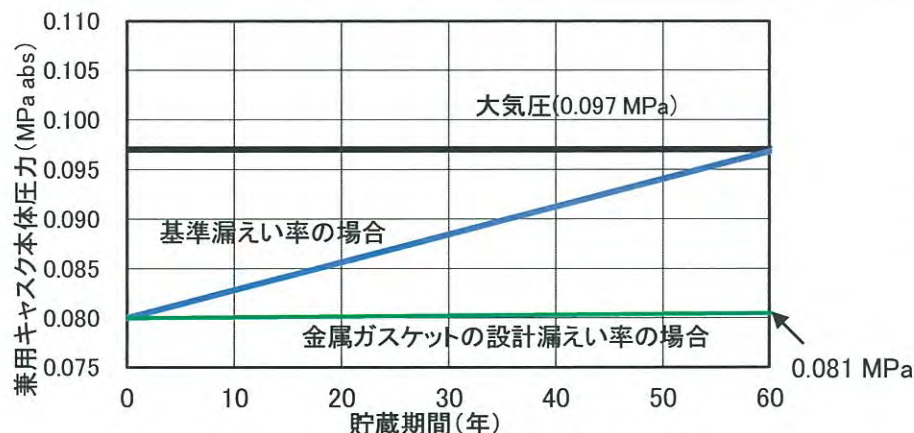
○閉じ込め機能の安全評価について¹⁾

閉じ込め評価結果

- ✓ 設計貯蔵期間(60年)を通じて、兼用キャスク内部を負圧に維持可能な基準漏えい率を求め、基準漏えい率よりも金属ガスケットの設計漏えい率が小さいことを確認した。
- ✓ 設計貯蔵期間後の兼用キャスク内部圧力は、大気圧よりも小さいことを確認した。

金属ガスケットの設計漏えい率 (Pa・m ³ /s)	基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)
1.0 × 10 ⁻⁷	2.4 × 10 ⁻⁶

兼用キャスク内部初期圧力 (MPa)	金属ガスケットの設計漏えい率による設計貯蔵期間経過後の兼用キャスク内部圧力 (MPa)	大気圧 (MPa)
0.080	0.081	0.097



貯蔵期間中の兼用キャスク本体内部圧力²⁾

ラーソン・ミラー・パラメータ(LMP)による評価を実施し、シール部の温度条件下で、金属ガスケットのクリープによる応力緩和が生じても、金属ガスケットの設計漏えい率は、設計貯蔵期間を通じて、10⁻¹⁰ Pa・m³/s以下を確保できることを確認している。

兼用キャスクの漏えい率は、金属ガスケットを兼用キャスクに組み合わせた状態での気密漏えい検査によって確認される。金属ガスケットの設計漏えい率が約10⁻⁷ Pa・m³/sであれば、設計貯蔵期間を経過しても十分に負圧を維持することが可能。

＜設計方針の妥当性＞

以上より、想定される最も高い温度(兼用キャスク内部温度、一次蓋シール部温度)においても、設計貯蔵期間中に兼用キャスク内部を負圧に維持することができる設計としていることから、兼用キャスクの閉じ込め機能に係る設計方針は妥当である。

1) 資料1-6 26頁参照 2) 図2.4.4-12参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 経年変化を考慮した材料及び構造 —

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(解釈別記4 16条第5項)

○兼用キャスクの長期健全性の設計方針¹⁾

《要求事項》

兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮したうえで、使用済燃料の健全性を確保すること。

【設計方針】：経年変化に対して必要な耐食性のある材料を使用し、かつ、腐食防止のため、兼用キャスク内部に不活性ガスを封入する兼用キャスクの構造とすることで、兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料に対して、熱的影響、放射線の照射による影響、化学的影響による経年変化を考慮する必要がない設計とする。

○審査ガイドの要求事項²⁾

審査ガイドの要求事項に対するHDP-69BCH(B)型の長期健全性維持における考慮を下表に示す。

要求事項(確認内容)	長期健全性における考慮
安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。	安全機能を維持する上で重要なHDP-69BCH(B)型の構成部材は、最低使用温度における低温脆性を考慮した上で、その必要とされる強度、性能を維持するように設計される。
設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を設計入力値又は設計基準値の算定に際し考慮すること。必要に応じて防食措置等が講じられていること。	HDP-69BCH(B)型は、主要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化の影響を設計入力値又は設計基準値に考慮する。また、兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な個所には、塗装等による防錆処理を講ずる。
兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。	HDP-69BCH(B)型は、兼用キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料を不活性ガスであるヘリウムとともに封入して貯蔵する。経年変化要因に対して、主要な構成部材の健全性を維持することで不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。

1) 資料1-2 5、17頁参照 2) 75、76頁参照

2. 設置許可基準規則への適合性について(第十六条) — 経年変化を考慮した材料及び構造 —

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(解釈別記4 16条第5項)

○兼用キャスクの長期健全性について¹⁾

【熱的影響】

・使用済燃料及び兼用キャスクの構成部材温度が文献等に示される温度以下であることから、熱による経年変化は考慮する必要はない(P.38参照)

【放射線の照射影響】

・設計貯蔵期間の中性子照射量が文献等に示される機械的特性変化が見られない範囲内であることから、照射による経年変化は考慮する必要はない

評価部材*1	評価結果(n/cm ²)*2	基準値(n/cm ²)	設計貯蔵期間中の放射線の環境条件下での経年変化を考慮した設計とするため、文献に基づき、材質の機械的特性に影響しない照射量を基準とした
胴、底板、外筒、蓋	<10 ¹⁵	<10 ¹⁶	
中性子遮蔽材	<10 ¹⁴	<10 ¹⁵	
金属ガasket	<10 ¹⁴	<10 ¹⁷	
バスケットプレート	<10 ¹⁶	<10 ¹⁷	
伝熱フィン	<10 ¹⁴	<10 ¹⁶	

*1: 使用済燃料の設計貯蔵期間中の中性子照射量は、炉内の照射量に比べて小さい

*2: 貯蔵初期の中性子が減衰せず、設計貯蔵期間中一定であると仮定して保守的に算出した設計貯蔵期間中の累積値

【化学的影響】

・兼用キャスク内部及び一次蓋と二次蓋の間に不活性ガス(He)を封入する設計、また、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、腐食環境にない。

以上のとおり、兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮したうえで、使用済燃料の健全性を確保する設計としている。

1) 資料1-2 79～81頁参照

3. 今後の説明の進め方

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



- 次回審査会合にて、設置許可基準規則への適合性について、4つの安全機能(第十六条)に対するコメントについて回答する。
- 設置方法②(よこ置き)の一部の評価(第十六条)、津波(第五条)、竜巻(第六条)、地震(第四条)は今後ご説明する。これらの安全機能維持について、既認可の同一構造の設計承認の評価結果を引用してご説明する。

HDP-69BCH(B)型 型式証明審査工程(案)

条項		2020年度	
		4月～9月	10月～4月
全般	ヒアリング 審査会合	概要 ▼ 6/8 申請対象 ▼ 8/6 申請対象(2) ▼ 10/5	申請対象(3) 補正申請 ▼
第十六条 燃料体等の取扱施設 及び貯蔵施設	ヒアリング 審査会合	設置方法⑤(たて置き)*1 ▼ 10/20	コメント回答 設置方法②(よこ置き)
第四条 地震による損傷の防止	ヒアリング 審査会合		設置方法⑤、設置方法②(よこ置き)
第五条 津波による損傷の防止 第六条 外部からの衝撃による 損傷の防止 その他	ヒアリング 審査会合		設置方法⑤*2

▼: 審査会合実施日 ▽: 審査会合希望

注記*1: 設置方法⑤(よこ置き)及び設置方法②(よこ置き)の一部は、設置方法⑤(たて置き)で代表可能なことを10/20審査会合でご説明した
 注記*2: 兼用キャスク本体への影響を評価するため、緩衝体を考慮しない設置方法⑤で成立性を示す

参考1 原子力発電所内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド 抜粋

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



別表 兼用キャスクの設置方法に応じた評価の例

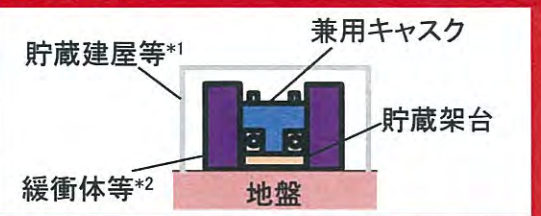
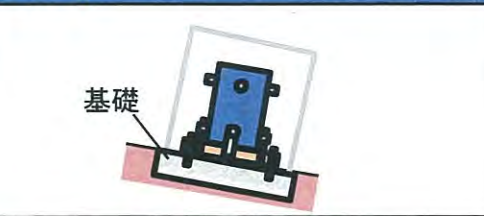
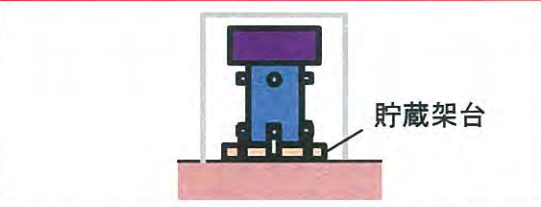

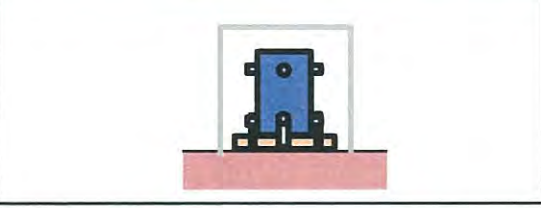
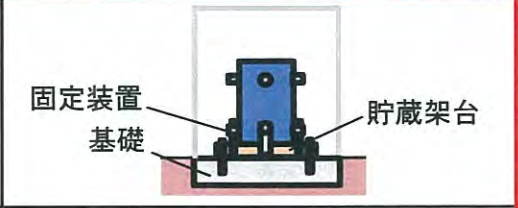
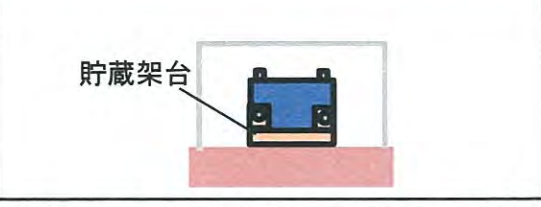
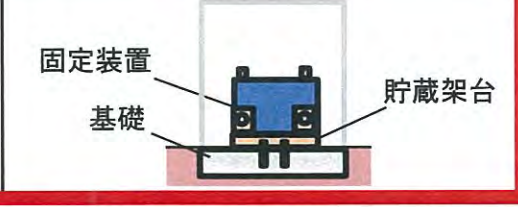
設置方法	地盤、基礎、支持部等の評価	蓋部の金属部への衝突評価	兼用キャスク本体評価	備考	
地盤の十分な支持を想定しない 基礎等に固定しない	①輸送荷姿 	-	-	-	*1
	②蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法 	-	-	○ (加速度)	
	③蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法 	-	○ (速度)	○ (加速度)	*2
	④基礎等に固定する 	○ (基準地震動)	/	○ (加速度)	
地盤の十分な支持を想定する	⑤基礎等に固定する 	○ (基準地震動)	/	○ (加速度)	*3

○：評価要
 -：評価不要
 *1～*3：「6.1 安定性評価の基本方針」参照

参考2 当社が型式証明で申請する設置方法について

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

○設置方法の名称は、第2回審査会合(8月6日)の連番から審査ガイド 別表の記載に変更する。

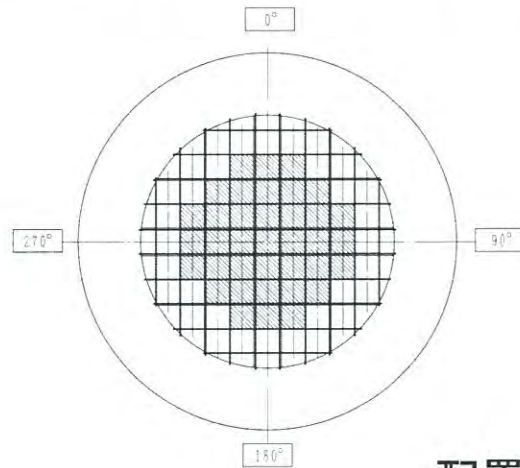
		設置方法				設置方法	
地盤の十分な支持を想定しない	基礎等に固定しない	設置方法② よこ置き		地盤の十分な支持を想定する	基礎等に固定する	設置方法④ たて置き	
		設置方法② たて置き				設置方法④ よこ置き	
		設置方法③ たて置き				設置方法⑤ たて置き	
		設置方法③ よこ置き				設置方法⑤ よこ置き	

注記*1 HDP-69BCH(B)型が雨水等に常時曝されることがないように貯蔵建屋やコンクリートモジュール等を設置。ただし、貯蔵建屋等の耐震性(要求なしを含む)は、設置(変更)許可申請において選択する。

注記*2 HDP-69BCH(B)型の蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置するために、兼用キャスクに装着する貯蔵用緩衝体等の貯蔵用付属品を指す。

○ 配置(i)の使用済燃料収納条件

種類		中央部		外周部	
使用済燃料の種類		新型8×8 ジルコニウムライナ 燃料	高燃焼度 8×8燃料	新型8×8 ジルコニウムライナ 燃料	高燃焼度 8×8燃料
使用済燃料 1体当たり	最高燃焼度(MWd/t以下)	40,000		34,000	
	冷却期間(年以上)	18			
兼用キャスク 1基当たり	収納体数(体)	37		32	
	キャスク内平均燃焼度 (MWd/t以下)	34,000			
	最大崩壊熱量(kW以下)	12.1			

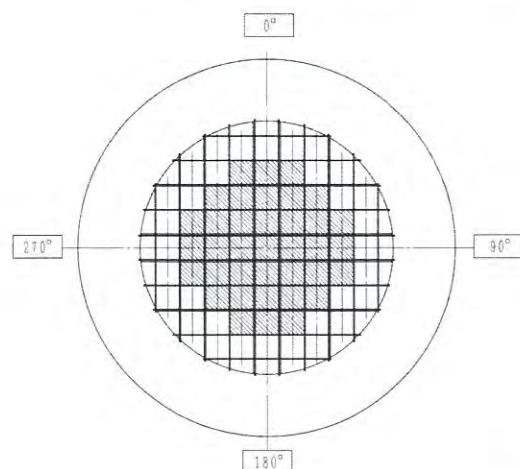


-  中央部 : 最高燃焼度40,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(37体)
-  外周部 : 最高燃焼度34,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(32体)

配置(i)の使用済燃料収納位置

○ 配置(ii)の使用済燃料収納条件

種類		中央部	外周部	
使用済燃料の種類		高燃焼度 8×8燃料	新型8×8 ジルコニウムライナ 燃料	高燃焼度 8×8燃料
使用済燃料 1体当たり	最高燃焼度(MWd/t以下)	48,000	40,000	
	冷却期間(年以上)	20	22	
兼用キャスク 1基当たり	収納体数(体)	37	32	
	キャスク内平均燃焼度 (MWd/t以下)	40,000		
	最大崩壊熱量(kW以下)	13.8		



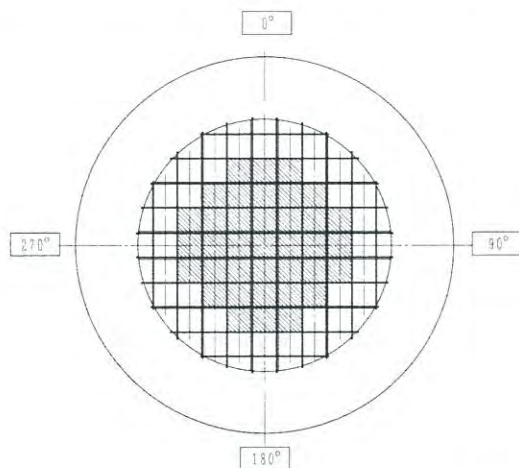
 中央部 : 最高燃焼度48,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(37体)

 外周部 : 最高燃焼度40,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(32体)

配置(ii)の使用済燃料収納位置

○ 配置(iii)の使用済燃料収納条件

種類		中央部	外周部
使用済燃料の種類		新型8×8燃料	
使用済燃料 1体当たり	最高燃焼度(MWd/t以下)	34,000	29,000
	冷却期間(年以上)	28	
兼用キャスク 1基当たり	収納体数(体)	37	32
	キャスク内平均燃焼度(MWd/t以下)	29,000	
	最大崩壊熱量(kW以下)	8.4	



-  中央部 : 最高燃焼度34,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(37体)
-  外周部 : 最高燃焼度29,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(32体)

配置(iii)の使用済燃料収納位置

HITACHI



この資料及びこの資料に基づ
く計算書並びに記録等の出力
を複製、第三者へ開示または
公開しないようお願い致します

END

**発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請
(審査会合コメント回答、設置許可基準規則への適合性)**

日立GEニュークリア・エナジー株式会社